MÉMOIRES

PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

A L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE

ET IMPRIMÉS PAR SON ORDRE.

TOME VIII.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS,

IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

QUAI DES AUGUSTINS, 55.

MÉMOIRES

PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE

S. 804. D. 21.

MÉMOIRES

PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE

ET IMPRIMÉS PAR SON ORDRE

SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES

TOME HUITIÈME

PARIS

IMPRIMÉ PAR AUTORISATION DU ROI

A L'IMPRIMERIE ROYALE

M DCCC XLIII

TABLE

DES MÉMOIRES CONTENUS DANS LE HUITIÈME VOLUME DES SAVANTS ÉTRANGERS.

Recherches générales sur l'organographie, la physiologie et l'organogénie des végétaux; par M. Charles Gaudichaud..... Page 1

Mémoire sur l'action de l'archet sur les cordes; par M. J. M. C. Duhamel.. 131

Mémoire sur la composition chimique des végétaux; par M. Payen..... 163

Mémoire sur l'amidon, la dextrine et la diastase, considérés sous les points de vue anatomique, chimique et physiologique; par M. Payen..... 209

Mémoire sur le rayonnement chimique qui accompagne la lumière solaire et la lumière électrique; par M. Edmond Becquerel..... 373

Recherches sur la disposition des nerfs de l'utérus, et application de ces connaissances à la physiologie et à la pathologie de cet organe; par M. le Dr Jobert de Lamballe..... 386

Mémoire sur la démonstration d'un nouveau cas du dernier théorème de Fermat; par M. G. Lamé..... 421

Recherches expérimentales sur l'inanition; par M. Charles Chossat..... 438

Recherches sur la cristallisation, considérée sous les rapports physiques et mathématiques; par M. G. Delafosse..... 641

MÉMOIRES

PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

A L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE.

RECHERCHES

GÉNÉRALES

SUR L'ORGANOGRAPHIE, LA PHYSIOLOGIE ET L'ORGANOGÉNIE

DES VÉGÉTAUX;

MÉMOIRE QUI A PARTAGÉ, EN 1835, LE PRIX DE PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE FONDÉ PAR FEU DE MONTYON;

PAR CHARLES GAUDICHAUD,

PHARMACIEN-PROFESSEUR DE LA MARINE ROYALE,

MEMBRE DE L'INSTITUT DE FRANCE (ACADÉMIE DES SCIENCES), DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATIQUE DE PARIS, CORRESPONDANT DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE DE PARIS, DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE BERLIN, DE L'ACADÉMIE DES CURIEUX DE LA NATURE DE BONN, DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE BOTANIQUE DE RATISBONNE, DE LA SOCIÉTÉ LINNÉENNE DU CALVADOS, DE LA SOCIÉTÉ DE MÉDECINE DE RIO-DE-JANEIRO, DE LA SOCIÉTÉ D'HISTOIRE NATURELLE DE L'ÎLE-DE-FRANCE.

Visitant, en 1830, les côtes du Brésil, du Chili et du Pérou, j'eus facilement l'occasion d'examiner la question qui occupe maintenant les botanistes.

Il s'agit de savoir si les végétaux ligneux s'accroissent en diamètre par la simple interposition du cambium entre le bois et

l'écorce, d'où résulte chaque année une nouvelle couche de l'une et de l'autre de ces parties; ou bien si, comme le prétendait à peu près seul M. Aubert du Petit-Thouars, ces couches proviennent des bourgeons, et sont bien formées de l'élongation de leurs tissus ligneux et fibreux dans le cambium, c'est-à-dire dans le fluide cellulifère.

Ne connaissant bien que les écrits des savants qui soutenaient la première de ces hypothèses, je me serais sans doute rangé de leur avis si, à cette époque, j'eusse été appelé à professer une opinion.

Désirant voir par moi-même et vérifier les principaux faits litigieux, je me dégageai, autant qu'il est possible de le faire, de tout esprit de système, et me livrai, pendant près de trois années, à des recherches assidues.

Ce fut avec quelque peine, je l'avoue, que, dès mes premiers pas, je me trouvai porté, par mes observations, loin de la route que j'aurais le plus volontiers suivie, et entraîné, comme malgré moi, vers celle qui a été si laborieusement parcourue par M. Aubert du Petit-Thouars.

Quoique je fusse bien sûr de l'exactitude des expériences que j'ai faites en Amérique, j'ai dû, à mon retour en France, les refaire sur des végétaux indigènes, et les résultats en ont été identiquement les mêmes. Ce sont particulièrement ces derniers matériaux, choisis parmi les végétaux les plus vulgaires, qui serviront de base à ce travail préparatoire, destiné à mettre les botanistes et tous les amis de la science à même de voir et de juger par eux-mêmes.

J'ai cherché en même temps à acquérir, sur le sujet que je vais traiter, une connaissance exacte des travaux des anciens physiologistes, et de ceux de MM. de Mirbel, Dutrochet, Ad. Brongniart, Turpin, Poiteau, etc. J'ai fait aussi une étude scrupuleuse des œuvres d'Aubert du Petit-Thouars, et c'est nourri des écrits de nos savants compatriotes et de ceux des Treviranus, des Link, des Lindley, des Agardh, des Molh, des Schultz, etc. que

je viens devant l'Académie des sciences présenter de nouveau un système qui me paraît vrai de tous points, système que La Hire a sans doute indiqué le premier par une simple note, mais que l'infatigable Aubert du Petit-Thouars a cherché à démontrer dans une suite de mémoires qui n'ont peut-être pas été convenablement appréciés de son vivant.

Le hasard m'ayant placé sur la route que ce dernier savant a tracée, et qu'il a si péniblement suivie jusqu'à la fin de sa carrière, il ne paraîtra pas étonnant qu'elle m'ait conduit au même but, et que les résultats de mes recherches aient la plus grande analogie avec ceux qu'il a obtenus.

Plus heureux cependant qu'Aubert du Petit-Thouars, j'ai dans mes explorations trouvé des matériaux bien différents des siens, et à peu près tout ce qu'il était possible de désirer pour la démonstration de théories dont la gloire me paraît devoir lui revenir comme une juste restitution et la récompense dignement acquise du labeur pénible qu'il s'est imposé.

Ou les théories que je vais présenter à l'Académie des sciences sont vraies, ou elles sont fausses. Si elles sont vraies, on doit les admettre, les soutenir et les propager; et j'ai tout lieu de compter sur le concours et même sur l'appui de l'Académie pour m'aider à les faire adopter; si l'on me démontre qu'elles sont fausses, je suis tout prêt à les abandonner.

Jusque-là, qu'il me soit permis de les exposer telles que je les conçois, de leur donner tous les développements dont elles sont susceptibles et de les défendre au besoin.

L'ouvrage que j'ai entrepris à ce sujet, et dont je vais chercher à donner une idée, repose sur des études anatomiques activement poursuivies depuis plusieurs années. Il a pour but une connaissance plus parfaite des végétaux, de leurs différentes parties, et conséquemment de leurs fonctions et de leurs produits.

Il nous conduira donc, je l'espère du moins, à l'adoption de lois générales qui serviront de base à la botanique proprement dite, à la physiologie, à l'anatomie des végétaux, et, en dernier

lieu, à leur anatomie comparée, ce qui est le complément philosophique de cette science.

J'ai naturellement divisé cet ouvrage :

1° En organographie, ou développement et accroissement des tiges, des feuilles, des fruits, etc.

2° En physiologie, ou phénomènes de la vie des végétaux ;

3° En organogénie, ou étude anatomique du développement et de l'agencement des tissus végétaux. Chacune de ces trois parties sera subdivisée en trois chapitres :

1° Les dicotylédones ;

2° Les monocotylédones ;

3° Les acotylédones.

Afin de procéder méthodiquement, il eût peut-être fallu commencer ce travail par l'étude des végétaux les plus simples, et passer successivement aux plus composés ; mais comme avant tout il m'a paru nécessaire de faire connaître les principes à l'aide desquels je compte établir ces nouvelles théories, et que ces principes s'appliquent surtout aux végétaux les plus complexes, j'ai dû nécessairement commencer par ces derniers, et spécialement par les dicotylédones[1]. Cet ordre sera celui de tout mon ouvrage.

[1] Je ne parlerai ici des acotylédones que lorsqu'il sera indispensable de le faire.

PREMIÈRE PARTIE[1].

ORGANOGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

VÉGÉTAUX DICOTYLÉDONÉS.

Les nouveaux principes qu'il me paraît utile d'établir provisoirement peuvent se résumer dans les propositions phytologiques suivantes :

1° Le végétal phanérogame le plus simple et le plus réduit (l'individu vasculaire) est représenté par une feuille cotylédonaire (I, 1, 3, 13; III, 8[2]).

2° Une feuille cotylédonaire, indépendamment de ses autres tissus, dont il sera traité plus tard, se compose primitivement d'un système vasculaire nervo-ligneux et cortical, qui peut être divisé en supérieur[3] (I, 1, *a*, *b*, *c*; 3, de *f* à *i*; 13, de *c* à *f*) et inférieur (I, 1, *e*; 3, *e*; 13, de *c* à *a*; III, 8, *r*).

Le système supérieur se divise à son tour en trois parties ou mérithalles : M. tigellaire, M. pétiolaire, M. limbaire. Les lignes de démarcation de ces mérithalles sont désignées par les noms de *mésophyte* (I, 3, *g*) et de *mésophylle* (I, 3, *h*); l'inférieur (I,

[1] Je ne donne ici que le résumé des deux premiers chapitres de l'organographie parce que ces deux premiers chapitres, qui forment la première partie de ce travail, sont les seuls qui aient été soumis au jugement de l'Académie.

[2] Nous indiquerons les planches avec des chiffres romains, les figures avec des chiffres arabes, et les détails avec des lettres italiques.

[3] Ces figures idéales conviennent parfaitement pour les démonstrations. Elles résument de nombreux faits organographiques.

3, *e*), qui généralement ne se développe que dans l'acte de la germination, est séparé du supérieur par un *mésocauléorhize* (I, 3, *f*), qui est le premier nœud vital de la tige, et en constitue la base réelle ou le sommet réel de la racine.

Le *mésophylle* (I, 3, *h*) sépare le limbe (I, 3, *c*) du pétiole (I, 3, *b*); le *mésophyte* (I, 3, *g*), le pétiole (I, 3, *b*) de la tigelle (I, 3, *a*); le *mésocauléorhize* (I, 3, *f*), la tigelle (I, 3, *a*) de la radicule (I, 3, *e*) ou racine embryonnaire [1].

3° Je nomme nerveux mérithalliens les vaisseaux primitifs qui forment le canal médullaire; tubuleux ou ligneux mérithalliens ceux du bois; fibreux mérithalliens ceux de l'écorce.

Ces vaisseaux primitifs du canal médullaire, du bois et de l'écorce, seront divisés en système ascendant et en système descendant.

4° Les vaisseaux de ces deux systèmes partent du même point (I, 3, *f*) et se développent en sens contraire. Ils sont alternes entre eux (I, 3, *f*), ainsi que ceux des *mésophytes* (I, 3, *g*) et des *mésophylles* (I, 3, *h*), et diversement nombreux et réticulés (I, 3, *a, b, c,* 4), selon les groupes végétaux.

5° Dans quelques cas, la radicule et la tigelle avortent plus ou moins complétement (IV, 2, 2′); dans d'autres, ce sont le pétiole et le limbe, ou l'une ou l'autre de ces parties (cactées, etc.[2]).

6° Dans un embryon monocotylédoné, il n'y a originairement qu'un système vasculaire mérithallien enveloppant. (Système ascendant.)

7° Il y en a deux ou plusieurs dans les embryons dicotylédonés ou polycotylédonés.

8° J'appelle système vasculaire l'ensemble des vaisseaux primitifs d'une feuille considérée comme plante distincte (*phyton*).

[1] Je désignerai les trois premières parties qui appartiennent au système supérieur, la tigelle, le pétiole et le limbe, par les noms suivants : 1° Mérithalle inférieur; 2° Mérithalle moyen; 3° Mérithalle supérieur.

[2] L'ordre dans lequel se développent ces différentes parties, lorsqu'elles existent toutes, est aussi sujet à de nombreuses modifications. Nous en citerons, dans le cours de ce travail, des exemples remarquables.

Ces vaisseaux, dont le nombre est déterminé pour chaque organe d'un végétal, sont composés de plusieurs sortes de tissus qui, par leur réunion, forment des appareils organisateurs qui seront décrits, ainsi que leurs fonctions, dans la troisième partie de ce travail.

Dans les monocotylédones, ces tissus restent ordinairement unis et s'accroissent ensemble; ils se séparent généralement dans les dycotylédones pour former, les uns, le canal médullaire, qui se compose en grande partie de trachées; les autres, les fibres de l'écorce. C'est entre ces deux sortes de vaisseaux, destinés à rester, les uns au centre, les autres à la circonférence des végétaux, que se trouve l'origine de la voie du cambium, voie dans laquelle se forme l'accroissement en diamètre du bois et de l'écorce.

9° Les cotylédons se soudent dans les embryons dicotylédonés (I, 5, 6; II, XI, 1) ou polycotylédonés (XI, 3), comme les sépales dans les calices monophylles, comme les pétales dans les corolles monopétales, comme les étamines dans les plantes monadelphes, diadelphes et polyadelphes; comme les carpelles dans les ovaires composés, comme ces différentes parties entre elles, enfin, comme les feuilles elles-mêmes, les stipules et les bractées dans quelques groupes végétaux. Ces soudures ont lieu par les bords comme par les deux surfaces.

10° Du nombre des cotylédons, puis des feuilles; de la disposition de ces parties et de l'ordonnance de leurs tissus vasculaires, résultent les deux ordres principaux de l'organisation des tiges phanérogames et leurs modifications diverses.

11° Indépendamment du bourgeon axifère (I, 1 *d*, 2 *d*, 3 *d*; XI, 1 *a*, 3 *a*, 4 *a*), chaque nœud vital [*mésocauléorhize*, *mésophyte* (XI, 4 *g*, *g*; V, 12 *e*), *mésophylle* (V, 10 *a*)] peut, dans les plantes vivaces, donner naissance a des bourgeons axillaires (V, 10 *a*; II, 5, 6).

12° Il y en a normalement un dans les embryons monocotylédonés.

13° Il y en a deux ou plusieurs dans les embryons dicotylédonés, un pour chaque feuille (II, 5, 6)[1].

Ces bourgeons axillaires avortent souvent dans les embryons des deux grands ordres de végétaux, les monocotylédonés et les dicotylédonés; mais rarement à l'aisselle de leurs feuilles. Leur nombre peut s'accroître par des causes accidentelles que nous expliquerons.

14° Les bourgeons axifères (I, 1, 2, 5, 6 *d*, 3 *d*) et axillaires (II, 5, 6; XI, 4 *g*, *g'*) représentent des scions ou rameaux à l'état rudimentaire. Ils sont composés d'un nombre déterminé de feuilles, deux ou plusieurs, régulièrement disposées deux à deux, ou en verticilles, en spires, etc.

Ces feuilles[2], selon qu'elles croissent dans la terre, dans l'eau ou dans l'air, où elles éprouvent des modifications diverses; selon leur nombre, leur position ou leur état particulier de développement, peuvent être dites : feuilles bulbeuses (IX), le porreau (*allium porrum*), le lys blanc (*lilium candidum*) (*crinum* IV, 2, 2', 3, 3', 3'', 4, 4'); tubéreuses (XII, 11 *c*, *é*, 12 *e*, 5 *a*) [les embryons 7, (*cereus quadrangularis*), 8. (*piper*), 9. (*nymphæa*), 10. (*Exocarpus*), sont aussi tubéreux : leurs cotylédons *a* sont à peine visibles]; squammeuses (XII, 6 *a*, *a'*), cotylédonaires ou séminales (XI, 1 *b*, *b'*; II, 1, 2); primordiales (III, 4 *b*, *c*, *d*; IV, 6, 7 *g*; VIII, 1, 2 *f*; VII, 18 *f*, *h*, *i*, 35 *z*, *z*[3]); propres ou normales; terminales

[1] Partout où il y a une cellule vivante il peut se développer un bourgeon. Nous verrons plus tard que les bourgeons qui se développent dans les sinus des feuilles des *bryophyllum*, des *ceratopteris* (voyez *Voyage de l'Uranie autour du monde*, capitaine L. de Freycinet, botanique, par Charles Gaudichaud; le *ceratopteris Gaudichaudii*, Ad. Brongniart, p. 393, tab. 20; *pteris cornuta*, Pal. de Beauv. Fl. d'Ow. et Ben. 63, tab. 37, fig. 2); au centre des feuilles des *nymphæa* (V, 10) *cærulea*, *rufescens*, *micranta*, *etc.* recueillies en Sénégambie, par MM. le Prieur et Perrottet, sur les pétioles des *villarsia*, *etc.* au sommet des rhachis de beaucoup de fougères, etc. pourront être classés parmi les bourgeons axillaires.

[2] Quelques personnes, trompées par la manière dont nous présentons ce travail, ont pensé que notre intention est de supprimer les noms si simples, et par conséquent si favorables à la science, d'écaille, de stipule, bractée, sépale, pétale, étamine, etc. pour les remplacer par ceux qui suivent : c'est une erreur que nous nous empressons de détruire.

Notre unique but a été de faire sentir les rapports réels qui existent entre ces parties, afin de ramener les phénomènes de la végétation à des lois beaucoup plus simples, plus philosophiques.

[3] Ces sortes de feuilles sont généralement très-remarquables, et distinctes des cotylédons et des feuilles propres.

(VI, 54 *a*); écailleuses[1] (VI, 54 *a*), stipulaires, bractéales, calicinales, nectarifères et discoïdes, corollaires, staminales, torusiennes, carpellaires et ovulaires; et ces dernières peuvent être dites funiculaires ou arillaires (VI, 31 *b*, 32 *a*, 32′ *b*), priminaires (VI, 26 *a*), secondinaires (VI, 26 *b*), tercinaires ou nucléines (VI, 26 *c*), quartinaires (VI, 26 *d*), quintinaires (VI, 26 *e*) et embryofères (VI, 32 *c*, 40 *d*, 41 *e*, 42 *e*, 43, 44 et 45 *d*, 46 *b*, ce sont des cotylédons modifiés). Les changements qu'éprouvent, dans certains cas, ces différentes parties, justifient convenablement ces dénominations qui, d'ailleurs, sont déjà pour la plupart adoptées.

15° Une tige vivace de dicotylédone est formée primitivement (indépendamment des autres tissus dont nous nous occuperons plus tard) par les vaisseaux du mérithalle inférieur de chaque feuille, lesquels vaisseaux sont successivement recouverts, dans l'ordre de leur accroissement respectif, pousse annuelle par pousse annuelle, verticille par verticille, et quelquefois mérithalle par mérithalle; par les prolongements radiculaires du système descendant des mêmes feuilles, eux-mêmes enveloppés et symétriquement séparés par du tissu cellulaire dit épidermoïde, pulpeux et médullaire, selon la place qu'il occupe ou le mode particulier de son développement : ou, en d'autres termes, une tige vivace est composée de feuilles superposées et greffées les unes dans les autres, entre les vaisseaux nervo-tubuleux du bois et les vaisseaux fibreux de l'écorce, par les prolongements radiculaires de ces mêmes vaisseaux.

Plus tard je ferai connaître l'organisation d'une feuille considérée comme végétal distinct, et les modifications qui s'opèrent dans ses nombreux états de réduction, comme dans l'union de ses tissus divers avec ceux des autres feuilles.

Pour bien faire comprendre la manière de croître des végé-

[1] Ces feuilles sont de plus en plus réduites vers le sommet jusqu'aux écailles inclusivement. Je décrirai les modifications organiques qu'elles éprouvent depuis l'état de feuilles normales jusqu'à celui d'écailles les moins développées. Elles sont aux bourgeons ce que les cotylédons sont aux embryons.

taux vasculaires, des dicotylédonés par exemple, je dois encore poser les principes suivants :

Tout s'organise dans le bourgeon, soit que ce bourgeon naisse dans l'aisselle des feuilles, sur les feuilles elles-mêmes, ou sur n'importe quelle partie extérieure des tiges; soit encore qu'il s'organise au sein des fleurs, dans les ovaires, sous la forme d'ovule, d'embryon, etc. Dans ces cas divers, le bourgeon est situé au sommet d'un mérithalle plus ou moins développé.

Les bourgeons adventifs seuls peuvent faire exception à cette règle (XIII, 6-7-8; XVII, 7, *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p*, 8, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*)[1].

Les mérithalles inférieurs appartiennent au système ascendant des cotylédons et des feuilles; ils sont simples ou composés: simples, s'ils sont formés par des plantes monocotylédones ou dicotylédones à feuilles alternes, engaînantes (bégoniacées, polygonées, arroches, pipéracées[2]); composés, dans les plantes de la même classe à feuilles opposées, verticillées ou éparses, non engaînantes.

Ce qu'on nomme généralement la radicule dans les embryons en repos (I, 1-5, *a*; VI, 14 *a*, 60 *b*, *c*, 61 *b*, *b'*, 62, 63 *b*; VII, 3, 4 *b*, 21 *b*, 22 *d*, 26 *k*, 39 *c*, 40 *b*, *b'*; VIII, 1, 2 *b*) est réellement la tigelle ou premier mérithalle caulinaire (mérithalle cotylédonaire), et appartient au système ascendant. La tigelle, dans les embryons développés (VII, 3, 4 *b*; VIII, 1, 2 *b*; XI, 1, 3, 4 *c*), est donc formée du mérithalle inférieur des feuilles cotylédonaires, ou, lorsque celui-ci avorte en tout ou en partie,

[1] Les bourgeons, comme je tenterai plus tard de le démontrer, sont formés par des cellules excitées. Ou les bourgeons se développent activement pour former des feuilles, des rameaux, des fleurs et des fruits, parties qui ont leurs productions radiculaires spéciales, ou ils restent à l'état rudimentaire de cellules organisées. Dans ce cas encore ils fournissent des prolongements radiculaires qui servent à l'accroissement des parties ligneuses, tout en activant la végétation cellulaire. C'est ordinairement dans le voisinage des plaies artificielles ou à la suite d'accidents qu'ils se forment, souvent en grand nombre. C'est à ces derniers bourgeons rudimentaires, auxquels j'ai donné, avec du Petit-Thouars, le nom de *bourgeons latents*, que, de prime abord, j'ai attribué l'accroissement des bases tronquées de certaines conifères. Ce fait très-important, signalé par M. Dutrochet (Mém. I, p. 231, tab. 7, fig. 1, 2), cessera de faire exception, comme beaucoup de personnes le pensent, dès qu'il sera examiné sous ce rapport.

[2] Bien entendu que, dans ce cas, ces mérithalles ne sont pas tout à fait simples.

par le mérithalle des feuilles primordiales (IV, 6, 7, 8, 9 *f*; VII, 18 *e*) : de là, les plantes dites épigées et hypogées, qui se distinguent, les unes et les autres, par des feuilles primordiales alternes (plusieurs tribus de légumineuses, etc.) ou opposées (la capucine [*tropæolum majus*]). La radicule ou racine cotylédonaire (I, 1, 2, 5, 6 *e*, 3 *e*; II, 7) ne se développe généralement que dans l'acte de la germination. L'embryon, à l'état de repos ou de vie latente, appartient donc tout entier au système supérieur (VI, 60, 61 *b*).

Le mérithalle cotylédonaire inférieur ou tigellaire (radicule des auteurs) (VI, 60, 61 *b*) manque dans quelques plantes (VII, 19, 20) [*nelumbium*]; il en est ainsi du mérithalle primordial qui avorte par épuisement, en totalité ou en partie, dans d'autres végétaux (IV, 6, 7, 8, 9 *f*; V, 1 *d*, 2 *e*, 3 *a*; VII, 18 *e*).

Le mérithalle cotylédonaire inférieur (la radicule ou la tigelle) manque totalement dans le *nelumbium* (VII, 19, 20 *a*.); en très-grande partie dans les plantes dites coléorhizes (IV, 6, 7, 8 *b*; V, 2 *a*). Celui des feuilles primordiales fait aussi très-souvent défaut (XI, 2, 9 *h*), spécialement quand celui des cotylédons (XI, 2, 9 *h*) prend beaucoup de développement. Plusieurs autres causes tendent à produire ce phénomène[1]. Ce mérithalle se développe, s'épuise et meurt promptement dans un grand nombre de végétaux phanérogames des deux grandes divisions des monocotylédonés et des dicotylédonés. Je citerai comme exemples remarquables de ce dernier fait, dans les monocotylédonés, de nombreuses graminées des genres *panicum*, *festuca*, *bromus*, *triticum*, *phalaris*, *briza* [toutes les espèces] (IV, 6, 7, 8, 9 *f*; V, 1 *d*, 2 *e*, 3 *a*), *lolium*, *lagurus*, *etc.* et, dans les dicotylédonés, probablement toutes les espèces de nymphéacées (*euryale*, *victoria*, *nuphar*, *nymphæa*, *n. alba*, *cærulea*, *trisepala*, nob.) (VII, 18 *e*.)

Dans ces derniers embryons, à cotylédons charnus, blancs

[1] Elles seront énumérées dans le travail général.

et saccharifères, la vie se concentre dans le bourgeon séminal ou cotylédonaire (IV, 6, 7, 8 *g*; V, 1 *e*, 3 *d*; VII, 18 *f*). Ce bourgeon est rapidement porté loin de la graine par un long mérithalle primordial, grêle, capillaire, blanc, qui se flétrit, meurt et se détruit en peu de jours (IV, 6, 7, 8, 9 *f*; VII, 18 *e*). Pendant la courte existence de la feuille primordiale (IV, 9 *g*; VII, 18 *f*) de ces germinations, le bourgeon primordial (IV, 6, 7, 8, 9 *h*; V, 3 *i*; VII, 18 *h*, *i*, *k*) grossit et donne rapidement une première feuille normale (IV, 6, 7, 8, 9 *h*; V, 3 *i*; VII, 18 *h*), puis une seconde (IV, 8 *k*; V 3 *k*; VII, 18 *i*), une troisième (IV, 8 *l*; VII, 18 *k*), et, successivement, autant de racines que de feuilles (IV, 6, 7, 8, 9 *i*, *i'*; VII, 18 *g*), et constitue ainsi une plante nouvelle, indépendante du germe qui lui a donné naissance (IV, 6, 7 *d*; V, 3 *h*; VII, 18 *a*). Ce curieux phénomène est général dans quelques groupes végétaux. Il nous portera à considérer aussi comme des mérithalles fugaces le funicule des ovules (VI, 23, 24, 25 *d*, 26 *f*) (funicule dont le raphé [VI, 23, 24, 25 *c*, 26 *g*, 27 *e*] est le prolongement, dont la chalaze [VI, 26 *h*, 27 *f*] est le *mésophyte*, et dont l'arille est le limbe) [VI, 32 *a*, 32' *b*], et le cordon ombilical lui-même (VI, 47, 50, 51, 52, 53 *a*, 40, 41, 42 *c*, 38 *b*, 43, 44, 45, 46 *a*; XII, 7, 8, 9, 10 *b*) (cordon suspenseur des auteurs).

Le mérithalle pétiolaire ou moyen des feuilles avorte aussi très-souvent, même dans les embryons (*cereus*) [VII, 1, 2 *a*; XII, 7 *a*], *opuntia* [VII, 3 *a*], *nymphæa* [VI, 50, 51, 52 *c*], *piper* [XII, 8, 9 *a*.]. Il en est ainsi des mérithalles supérieurs ou limbaires de certaines plantes dites *aphylles*, dans lesquelles le limbe fait entièrement défaut (*cereus*), et n'est représenté que par un mamelon ou par une houppe de poils soyeux. Dans d'autres cas, ce mérithalle n'est que réduit et promptement caduc, comme dans les *opuntia* (VII, 3), dans les vrilles (VI, 13 *a*, *a'*), les épines (VI, 55, 56 *a*, 57 *c*), et dans les écailles des bourgeons (VI, 54 *a*). La figure 5 et la figure 6 de la planche XII représentent aussi en *a* des limbes ou des pétioles réduits.

Ce limbe est également très-court dans les embryons mûrs des *cereus* (XII, 7 *a*), des *piper* (XII, 8 *a*), des *nymphæa* (XII, 9 *a*) et des *gnetum* (VI, 41 *f*, 43 *d*[1]), où les cotylédons ne forment que de légères protubérances.

Il n'y a, en apparence, qu'un seul cotylédon dans certains genres de la famille des *urticées*, notamment dans quelques sections naturelles, telles que les mûriers, les chlorophorées et antiaridées (VI, 8, 9, 10, 11, 12), les *socorea* du Brésil. Dans ces embryons, le cotylédon développé (VI, 8, 9, 10, 11, 12 *a*) acquiert de très-grandes dimensions et se contourne de manière à envelopper plus ou moins complétement le cotylédon avorté; ce qui a fait croire à beaucoup de personnes que ces plantes sont monocotylédones dans leurs embryons, quoiqu'elles soient essentiellement dicotylédones par tous les caractères de leur organisation générale. Le *trapa natans* est aussi dans ce cas (V, 11, 12).

On sait que, s'il se forme un bourgeon dans l'aisselle d'une écaille de vrille (VI, 13 *a*) ou d'épine (VI, 55, 56, 57 *a*), ces parties, ordinairement grêles, deviennent en peu de temps des rameaux complets. La vigne en offre fréquemment des exemples.

Maintenant, pour démontrer que les tiges des dicotylédones s'accroissent en hauteur par le développement des mérithalles inférieurs, et, en largeur, par la superposition des vaisseaux fibreux et tubuleux des feuilles, prenons un exemple bien connu de germination à mérithalle cotylédonaire inférieur très-développé, la petite rave (*raphanus sativus*) (XI, 1, 6, 15, 16), dont la germination a déjà servi de sujet à deux mémoires importants, l'un de M. Henri de Cassini[2], l'autre de M. Turpin[3]. Le dernier de ces mémoires est accompagné d'excellentes figures à la manière de l'auteur.

[1] Dans presque tous ces exemples, et dans beaucoup d'autres que je pourrais citer, les cotylédons achèvent ou modifient leur développement dans l'acte de la germination.

[2] *Opuscules phytologiques*, II, p. 380.

[3] *Annales des sciences naturelles*, ancienne série, t. XXI, p. 298, tab. 5.

La coupe horizontale des cotylédons en A (XI, 6) montre huit faisceaux vasculaires disposés en cinq points, dont un, situé au centre, et deux, sur les côtés, sont doubles, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*. En B, ces faisceaux se sont rapprochés; les doubles se sont tout à fait confondus. En C, on n'en distingue plus que quatre. Les points du centre formés de *c*, *d*, *e*, *f*, commencent à se réunir. La figure D représente une tranche horizontale de tout l'embryon, au point où les pétioles cotylédonaires viennent se joindre.

Là les vaisseaux mérithalliens, réduits à quatre dans chaque cotylédon, se confondent en une seule ligne. *f*, *f*, de la même figure, sont les feuilles primordiales qui sont aussi opposées, et dans lesquelles on voit distinctement trois des vaisseaux mérithalliens principaux. En E, les vaisseaux des cotylédons ne forment, pour ainsi dire, plus qu'un seul point, *e* et *e'*; les bases des feuilles primordiales *f* et *f''* offrent chacune cinq faisceaux, dont trois plus grands. En F, ils sont plus prononcés, et ceux des cotylédons *e* et *e'* commencent à se séparer en quatre groupes. En G, les faisceaux secondaires des feuilles primordiales *g*, *h*, et *g'*, *h'*, tendent à se réunir et à s'approcher ensemble de la nervure centrale *i*, tandis que ceux des cotylédons s'éloignent de plus en plus, en quatre faisceaux distincts, *e*, *e*, *e*, *e*. En H, *g*, *h*, et *g'*, *h'*, ne forment plus que deux corps, et réduisent ainsi à trois les nervures primordiales. En I, *g'*, *h'* se sont réunis à la nervure moyenne, tandis que *g* et *h* sont encore libres : l'inverse a lieu de l'autre côté. En K, les six faisceaux produits par les cotylédons et par les feuilles primordiales sont à peu près également espacés et disposés en cercle, *e*, *e'*, *g*, *h*, *i*. En L, les faisceaux des feuilles primordiales, *e* et *e'*, s'unissent, *e* avec *i*, et *e'* avec *i'*. En M, ils achèvent de s'unir. En N, ils ne forment plus que quatre corps distincts qui se confondent de plus en plus jusqu'en O, où ils se réunissent en un seul corps quadrilobé, puis en deux corps bilobés en P, et simplement émarginés en Q. Q serait le point de départ du système ascendant

des cotylédons, E celui des feuilles primordiales. En R, les deux doubles faisceaux Q se sont divisés chacun en trois faisceaux radiculaires. En S, les mêmes sont plus rapprochés. En T, deux de ces faisceaux se divisent en racines. U, chevelu épidermoïde. Ces observations démontrent que les nœuds vitaux, ou points de départ des différents systèmes de ces quatre premières feuilles, sont bien E, H, K, O, Q et T: ce que les études anatomiques viendront aussi prouver.

Pour avoir l'image d'un squelette nervo-fibreux de ces embryons, il suffirait de disposer régulièrement ces figures les unes au-dessus des autres, et de faire passer des lignes par chacun des points vasculaires, dans l'ordre de convergences et de divergences successives, offert par ces tranches diaphanes, ainsi que j'ai essayé de le faire pour les cotylédons (XI, 8). Cette expérience, tentée vingt fois sur les radis, l'a été un égal nombre de fois sur beaucoup d'autres végétaux[1].

Dès que les feuilles primordiales (XI, 14 *b*) se développent, et que, par suite de l'élongation des vaisseaux tubuleux de leur système inférieur et du rayonnement médullaire, le mérithalle cotylédonaire inférieur commence à se dilater (XI, 14 *c*), on remarque facilement par la dissection ou simplement au moyen de tranches verticales minces, faites dans la direction des cotylédons de manière à partager en deux la nervure moyenne de ces cotylédons (*protophylles*, Aubert du Petit-Thouars, ou *protophytes*) (XI, 14, *a*.), que les vaisseaux tubuleux de ces mêmes feuilles primordiales, descendent[2] entre l'épiderme et les vais-

[1] Je donnerai bientôt le résultat général de toutes ces expériences.

[2] En avançant que les vaisseaux tubuleux descendent des bourgeons vers les racines je n'ai jamais prétendu dire qu'ils partent tout formés de la base de ces bourgeons et s'allongent ndéfiniment; mais bien qu'ils s'organisent de haut en bas, cellule par cellule, à l'instar des tissus ligneux des racines, et en obéissant à une force qui émane, non des bourgeons, que bien à tort on a individualisés, mais des feuilles qui les composent, chaque feuille ayant, selon son état de développement, sa force propre, et un nombre déterminé de tubes radiculaires, toujours en rapport avec les vaisseaux de son système ascendant.

Dans la troisième partie de ce travail je ferai connaître l'organisation et le mode de développement des vaisseaux des deux systèmes.

seaux tubuleux des cotylédons, et enveloppent ces derniers (XI, 14 *d*); que, dès ce moment, il s'établit, du centre à la circonférence (XI, 14 *e*), un rayonnement médullaire favorable au développement des tissus fibreux et qui sépare ces tissus en lignes minces excentriques.

C'est ainsi que se forment les premiers rayons médullaires.

De ce double développement des tissus tubuleux descendants des feuilles primordiales (XI, 14 *d*, *d'*) extérieurement aux tissus ascendants ou mérithalliens des cotylédons (XI, 14 *f*), et du rayonnement médullaire, résultent, en peu de temps, 1° la rupture de l'épiderme du premier mérithalle (M. cotylédonaire) (XI, 14 *g*, *g'*), épiderme qui est uniquement formé de tissu cellulaire allongé, à mailles larges et presque vésiculeuses, en deux languettes qui correspondent aux cotylédons (XI, 14 *g g'*); 2° la formation d'un nouvel épiderme (E. primordial) (XI, 14 *h*), à cellules ténues et ordinairement colorées.

Au-dessous de ces languettes, c'est-à-dire dans la direction des cotylédons, naissent de nombreuses racines (XI, 14, *i*) fibreuses, blanches, disposées en deux lignes droites, de haut en bas.

Ce qui a lieu très-visiblement dans les petites raves et radis (*raphanus sativus*), ainsi que dans la carotte (*daucus carota*) (VIII, 6), la betterave (*beta vulgaris*) (XII, 1), la rave (*brassica rapa*), le navet (*brassica napus*) (XII, 15, 16), et autres tiges radiciformes charnues, a lieu aussi, et de la même manière, dans tous les végétaux ligneux, et s'observe surtout très-facilement dans les arbres à feuilles opposées, tels que le lilas (*syringa vulgaris*), le frêne (*fraxinus excelsior*), le marronnier (*æsculus hippocastanum*) (VIII, 5), etc.

Un des végétaux herbacés qui paraissent se prêter le plus facilement à ce genre de démonstration est, parmi ceux qui ont des tiges souterraines, le navet commun (*brassica napus*) (XII, 13). Si l'on dépouille avec soin de son écorce une de ces tiges charnues, légèrement fanée, en opérant de bas en haut, on aperçoit facilement les vaisseaux tubuleux radicifères ou sous-mérithalliens,

mis à nu (XII, 14 *f*). Pour s'assurer que ces vaisseaux proviennent bien des feuilles supérieures du bourgeon terminal, on continuera la décortication. Les feuilles inférieures qu'on rencontrera bientôt (XII, 14 *e*, *e'*, *d*, *d'*) offriront une résistance qu'il faudra vaincre en disséquant leurs bases pétiolaires, de manière à ne conserver que les vaisseaux tubuleux jaunâtres des nervures principales, vaisseaux qui pénètrent dans le centre de la tige (XII, 14 *d*, *d'*, 15 *b*), et entre lesquels on voit distinctement serpenter ceux qui précédemment ont été rencontrés plus bas (XII, 14 *f'*). En procédant ainsi jusqu'au sommet du bourgeon, on verra clairement que ces mêmes vaisseaux tubuleux qui ont été rencontrés à la base de la tige (XII, 14 *f*, *f'*) du navet, et qui serpentent dans toute sa longueur, ainsi qu'au travers des nervures principales de tous les pétioles, proviennent bien des feuilles supérieures ou centrales du bourgeon, c'est-à-dire de celles qui sont les dernières à se former et à opérer leur développement (XII, 14. *a*).

L'organisation de la partie supérieure ou aérienne de ces tiges[1] ne diffère de celle de la base charnue, qu'en ce que les mérithalles de cette dernière sont moins prononcés.

L'anatomie d'un jeune scion de marronnier présentera les mêmes phénomènes (VI, 54); mais avec cette différence que là les mérithalles sont très-marqués, et qu'on peut facilement y étudier l'ordre de distribution d'après lequel les tissus tubuleux se symétrisent.

Si l'on fait une coupe verticale de l'un des bourgeons de cet arbre (VIII, 5), avant qu'il ait commencé son mouvement d'évolution printanière, dans la direction des feuilles qui ont produit le dernier mérithalle visible de l'année précédente (VIII, 5 *n*, *n'*), on observe, si la coupe a été heureuse, c'est-à-dire faite dans la direction des vaisseaux tubuleux extérieurs des pétioles: 1° un des vaisseaux de la feuille du dernier mérithalle (VIII, 5 *a*); 2° les vaisseaux mérithalliens des feuilles écailleuses (VIII, 5

[1] Les tiges florifères. —

b, *c*, *d*, *e*), et, plus haut, ceux des mérithalles des feuilles normales de la plante. Ces derniers sont moux et gélatineux, et pour ainsi dire encore à l'état de cambium, dont même ils m'ont paru être des prolongements tubuleux, digités, rameux (VIII, 5 *f*, *g*, *h*, *i*). Au centre se trouve la moelle, qui est sèche, blanche et cristalline jusqu'au sommet du bois (VIII, 5 *k'*), gélatineuse et presque fluide, brun-verdâtre, au-dessus, jusqu'à l'extrémité des feuilles rudimentaires (VIII, 5 *k*, *i*).

Si l'on suit au printemps le développement de l'un de ces bourgeons, on observe les phénomènes suivants :

Les écailles (VIII, 5 *b*, *c*, *d*, *e*) s'ouvrent en rosette et se détachent assez promptement; le premier mérithalle, qui est souvent formé de deux feuilles réduites à l'état de simples lames spathuliformes colorées, commence son évolution; le deuxième, qui alterne avec celui-ci, et qui est aussi composé de deux feuilles normales opposées, s'en échappe bientôt après, et est rapidement suivi par un troisième, un quatrième et un plus grand nombre, si surtout ce bourgeon ne produit pas de thyrse. Dans l'un et dans l'autre cas, les mérithalles du sommet sont très-réduits (VIII, 6 *b*, *c*).

L'écorce de ce rameau (scion) étant enlevée, on trouve que, comme dans le navet, les vaisseaux tubuleux de la paire de feuilles du sommet s'agencent régulièrement avec ceux du mérithalle immédiatement situé au-dessous, qu'ils alternent ou se marient régulièrement avec ceux-ci, qui, à leur tour, se rencontrent de la même manière avec ceux qui leur sont aussi inférieurs.

Mais tandis que ces vaisseaux mérithalliens se développent de bas en haut (VIII, 5 *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*; VII, 41 *a* à *k*) et se coordonnent d'après des lois mathématiques qu'il sera facile d'indiquer pour chaque végétal, souvent pour chaque genre, quelquefois pour chaque famille, leurs prolongements radiculaires (VII, 42, *l* à *t*, *l'* à *u'*) opèrent leur évolution de haut en bas, à partir du sommet du mérithalle caulinaire (VII, 42 *l* à *t*) ou mésophyte (VII, 42, *a* à *k*), de manière que les pro-

longements radiculaires du second mérithalle *b* recouvrent le premier mérithalle *a;* ceux du troisième *c*, le second et le premier *a b*, et conséquemment les vaisseaux radiculaires du second *t;* ceux du quatrième *d*, le troisième, le second, le premier et les prolongements radiculaires du troisième, lesquels couvrent le second et le premier, et successivement; en sorte que les prolongements radiculaires du dernier mérithalle supérieur *k*, simple ou composé, en admettant, bien entendu, que ce mérithalle représente un verticille, recouvrent tous les inférieurs *l*, *l'* jusqu'à *k'*. Je pense qu'il sera possible d'établir que ces vaisseaux tubuleux radiculaires se couvrent régulièrement scion par scion, verticille par verticille, et même, dans quelques cas, mérithalle par mérithalle (VII, 44, A); ce qui fournira des règles certaines pour les théories des couches concentriques, et l'explication d'un grand nombre de formes curieuses observées dans les tiges[1].

Les vaisseaux tubuleux radiculaires des feuilles, régulièrement disposés en rayons par des tissus cellulo-médullaires centrifuges, forment les couches annuelles et la charpente ligneuse du tronc des arbres dicotylédonés, de manière que, sur la base d'un tronc d'arbre (VII, 42, X), les vaisseaux tubuleux, sous-mérithalliens ou radicifères des feuilles du sommet, se trouvent à la surface de toutes les couches ligneuses (VII, 41 *k, k'; 42 k'', l'; 44, k*), tandis que les vaisseaux mérithalliens, ou ascendants de toute la plante (VII, 41 *a m, b n, c o, d p, e q, f r, g s, h; 42 a à k;* 44, A, *a, b, c*), sont régulièrement disposés au centre des tiges et des rameaux, où ils forment ce qu'on appelle le canal médullaire, canal qui est caractérisé par sa position, généralement centrale, par des trachées, etc. tandis que les vaisseaux tubuleux paraissent n'être formés que par des tissus allongés, dits fendus, ponctués, etc. Aux approches d'un nœud (XV, 7 *b*) ou d'un obstacle quelconque, les vaisseaux tubuleux descendants se dévient et forment souvent des sinuosités nombreuses (XV, 7, *a, a'*), labyrinthiformes; contournent enfin l'obstacle, et vont gé-

[1] Celles des sapindacées, bignoniacées, malpighiacées, etc.

néralement reprendre, au-dessous de cet obstacle, leur direction verticale primitive.

Rencontrent-ils sur leur passage une forte ligature circulaire (XVI, 1 *c*), ils s'arrêtent en grande partie, et forment un bourrelet qui s'accroît annuellement, ainsi que toute la partie du tronc située au-dessus de la ligature (XVI, 1 *b*), tandis que celle qui est au-dessous (XVI, 1 *d*) reste sensiblement moins forte. Cette ligature est-elle disposée en spirale (XVII, 13) de haut en bas, ce que la nature nous montre souvent, surtout dans les pays où les lianes abondent, alors on voit les vaisseaux tubuleux descendre entre les sinuosités du lien (XVII, 13 *b*, *b'*, *b''*) et former des circonvolutions que chacun a pu remarquer dans certains bâtons très-recherchés des ouvriers, tandis que les tissus du centre, primitivement formés, restent droits (XVII, 13 *c*, *c'*, *c''*). On obtient des résultats semblables, et plus prononcés encore, si, au lieu de ligature, on enlève une bande spirale de l'écorce (XV, 1).

Dans l'un et dans l'autre cas, les fibres récentes ou intérieures de l'écorce se croisent avec les fibres anciennes ou extérieures, comme les vaisseaux tubuleux récents ou extérieurs du bois se croisent avec les vaisseaux tubuleux anciens ou intérieurs.

A-t-on mis par une décortication circulaire une partie ligneuse de la tige à nu (XIII, 10 *b;* XVI, 16, 19, 21); ne trouvant plus l'humidité et l'obscurité qui leur sont nécessaires, les vaisseaux tubuleux s'arrêtent au bord supérieur de l'écorce (XIII, 10 *c;* XVI, 16 *c*, 19 *a*, 21 *c*), forment, comme dans la ligature circulaire, un bourrelet de plus en plus épais, qui finit par franchir l'espace mis à nu, si cet espace a peu de largeur ou si l'on favorise le développement et la marche des tissus en humectant le bois, ou en le préservant du contact de l'air. Mes expériences, à ce sujet ont eu un plein succès (XIII, 10 *d;* XVI, 16 *d*, 19, 21 *c*), même sur les rameaux des arbres dits *pleureurs* (*salix, sophora, fraxinus, etc.*). Dans ces derniers exemples, les bourrelets, en apparence inférieurs par suite de la position inclinée des ra-

meaux, sont réellement supérieurs. J'expliquerai ce fait dans la partie de mon travail sur la physiologie, qui traite des forces dynamiques présidant aux développements des tissus divers.

Paris et ses environs abondent en exemples remarquables de ce genre de phénomène : je signalerai les plus curieux parmi ceux qui nous sont offerts par le seul marronnier (*æsculus hippocastanum*), et qu'il est le plus facile d'observer.

Le parc de Saint-Cloud en comptait un grand nombre en 1830; deux sont morts en août 1834 (XVII, 3-4, 5-6), par l'effet des grandes chaleurs, et d'autres ont réuni leurs bords par des élongations ligneuses, de haut en bas, de dimensions diverses.

Parmi ceux qui existent encore [1], il en est un que je dois signaler comme étant le plus curieux de tous. Il est situé dans la grande allée, qui va de la colonne pyramidale à la grille de Ville-d'Avray, dans le rang du milieu, au coin N. E. de la seconde allée à droite. Cet arbre (XVII, 1), qui fut écorcé circulairement vers la base, dans un espace de deux pieds de haut environ, a donné, dans l'année qui suivit cet accident, une longue coulée ou traînée de tissus ligneux (XVII, 1 *g*). Ces tissus, durcis par l'action des agents météoriques, se sont détachés des couches anciennes (XVII, 1 *g*; 2 *g*, *g'*), et ont perdu, par le temps, leur écorce et la majeure partie de la matière cellulaire concrétée qui, lorsqu'elle était fluide, leur servait de matrice. Aujourd'hui ils sont morts, ainsi que ceux de la couche sous-jacente, tandis que la portion supérieure de la tige (XVII, 1 *a*), qui compte dix ou douze années de plus, a continué de se développer jusqu'au bourrelet (XVII, 1 *d*, *d'*; 2 *d*). Des bourgeons nombreux se sont aussi formés entre l'écorce et le bois de la base extrême de l'arbre (XVII, 1 *i*, *i'*; 2 *i*, *i'*), et ont déterminé, dans ce point, une notable augmentation (XVII, 1 *b*; 2 *b*).

[1] Cet arbre, en août 1838, était sur le point de mourir. Je l'ai demandé à M. Mathieu, chef du Trocadéro, qui a bien voulu le faire porter aux galeries de botanique du Muséum d'histoire naturelle, où il est maintenant déposé.

Le jardin du Luxembourg nous fournira un second exemple, aussi fort remarquable.

L'arbre qui le présente est situé dans la deuxième allée parallèle à la rue de Vaugirard, derrière le petit Luxembourg, à l'extrémité ouest de la grille en fer qui entoure un talus vert. Ce marronnier, le septième du rang (XVII, 10), doit être écorcé depuis longtemps[1]. M. Souchet directeur des jardins et parcs de Fontainebleau nous a montré dans l'allée Maintenon, près du château, un tilleul qui, par accident, a aussi perdu une grande portion circulaire de son écorce. Cet arbre, qu'il observait depuis dix ans, offrait, en juillet 1834, la figure représentée à la planche XVII, 9.

Le n° 7 de la même planche donne la figure exacte d'un jeune peuplier auquel on a enlevé, vers le mois de mai 1834, une couronne d'écorce. En octobre, le bord inférieur de la cicatrice était chargé de bourgeons auxquels il faut attribuer la couche légère qui s'est formée entre le bois ancien et l'écorce (XVII, 7 *q*), et le notable épaississement de l'écorce (XVII, 7 *p*) elle-même.

Dans les arbres figurés (3-4, 5-6, 9 et 10, de la pl. XVII), les couches ligneuses extérieures du bois écorcé sont mortes souvent jusqu'à un ou deux pouces de profondeur, et désorganisées dans quelques-unes de leurs parties (XVII, 3-4, 9 *f*). Ce n'est que vers le centre qu'on rencontre les tissus vivants; ces tissus sont donc nécessairement chargés de transmettre la sève aux parties supérieures de l'arbre, puisque les couches ligneuses des cinq ou six dernières années se sont arrêtées au point *d*, et n'ont aucune communication directe avec le sol. Mais à cela se bornent probablement les fonctions de ces vaisseaux tubuleux intérieurs qui, dans ce cas, n'ont même guère plus qu'une action mécanique.

Si la décortication est faite de manière à laisser une large

[1] 1815. Cet exemple est encore déposé aux galeries de botanique, grâce à l'obligeance de M. Lévêque, treillageur des jardins royaux.

bande spirale d'écorce allant du sommet à la base de l'arbre (XV, 1), on voit les vaisseaux tubuleux suivre naturellement la direction de cette écorce. Dans ce cas les nouveaux tissus ligneux croisent presque à angle droit les tissus ligneux anciens (XV, 1 *c''*). La même chose a lieu entre les nouvelles couches du liber et les anciennes (XV, 1 *e*). Les rayons médullaires, de verticaux qu'ils étaient (XV, 1 *b*, *b'*, *b''*, *b'''*), deviennent aussi horizontaux (XV, 1, *c''*). M. Aubert du Petit-Thouars, qui a rendu pour ainsi dire vulgaires ces sortes d'expériences, a, je crois, figuré, dans ses essais inédits, plusieurs faits analogues à celui-ci (XV, 1).

La nature produit souvent d'elle-même ces sortes de phénomènes. J'en ai rencontré beaucoup d'exemples dans mes voyages et même en France. Il en est un, parmi les derniers, que je dois citer; il est placé de manière à être facilement observé par tous les botanistes. Je veux parler d'un sureau (*sambucus nigra*) (XVII, 14) qui se trouve dans le jardin du Muséum d'histoire naturelle, près de la grille du quai d'Austerlitz, dans un carré sans entourage, qui touche au petit café [1]. Ce sureau, mort depuis longtemps, et que sa mauvaise mine et son isolement ont peut-être fait négliger, se compose d'une tige haute de huit à dix pieds, et large de dix à douze pouces, irrégulièrement tronquée au sommet. Sur le côté méridional de ce sommet a persisté un nœud vivant (XVII, 14 *b*), chargé de rameaux, dont les prolongements tubuleux inférieurs descendent jusqu'au sol, où ils pénètrent enfin, après avoir formé une bande spirale d'un pied environ de largeur, et disposée de droite à gauche (XVII, 14 *c*, *c'*), tandis que le reste du tronc montre a nu ses tissus ligneux anciens morts, tordus, fendus et blanchis par le temps (XVII, 14 *a*, *a' a''*).

Ce curieux exemple résulte peut-être d'une expérience tentée jadis par les Desfontaines, les Thouin, les du Petit-Thouars.

[1] L'ouragan du mois de mars 1835 l'a déraciné. On en conserve une rondelle aux galeries de botanique du Muséum d'histoire naturelle.

Il est, selon moi, fort remarquable et des plus concluants [1].

Si ces faits ne suffisent pas pour démontrer que les vaisseaux tubuleux et fibreux se développent, de proche en proche, et de haut en bas, qu'ils ont leur point de départ dans les productions diverses des bourgeons, je rappellerai encore les greffes (XVI, 22, 23; XVII, 16); les boutures (XVII, 17) et les marcottes, qui toutes servent à le prouver.

Frappé des résultats importants dont notre célèbre et infortuné compatriote, M. le chirurgien Delpech, de la faculté de Montpellier, a entretenu l'Académie des sciences en 1828, sur l'art de la rhynoplastie, je fis, dès le printemps suivant, et dans celui de 1830 divers essais, afin de voir si l'écorce des végétaux se prêterait aussi facilement à des expériences analogues, et ils furent couronnés du plus heureux succès. Ces essais, que j'ai renouvelés cette année encore (1834), forment le sujet d'un mémoire particulier que je compte publier bientôt. Dans ce mémoire je décrirai plusieurs expériences nouvelles sur la greffe; expériences dont j'espère obtenir d'utiles résultats généraux pour la science phytologique, pour l'agriculture et le commerce. Quelques procédés nouveaux, relatifs à la taille des arbres, apprendront à éviter les nombreux accidents qui résultent ordinairement de cette opération de culture, tels que les gouttières, la carie.

Ces moyens, qui consistent à couvrir le point de section des rameaux, avec des portions d'écorce vivante préalablement soulevées du tronc et des rameaux, et qui promettent de fournir pour ainsi dire à volonté d'immenses et solides baliveaux pour la construction des bâtiments de terre et de mer, m'ont aussi prouvé, de la manière la plus évidente, que les vaisseaux tubuleux sous-mérithalliens, toujours accompagnés de sucs cellulifères, descendent rapidement vers la base de la tige. En effet, ayant coupé quelques rameaux (XVI, 5 *a*) au ras du tronc, après

[1] Un prunier, situé à Sceaux, à l'entrée gauche d'un petit chemin des champs qui conduit à la montagne, présente à peu près la même disposition.

avoir préalablement soulevé l'écorce qui en revêtait la base (XVI, 6 *c*), et appliqué ensuite convenablement cette écorce sur la plaie (XVI, 7) avec des liens légers (XVI, 7 *e*, *e*), il n'a pas fallu une année pour que ces bases de rameau, nettement coupées au niveau des autres fibres du tronc, fussent couvertes d'une couche épaisse de tissus ligneux, qui provenaient évidemment des bourgeons du tronc principal, et descendaient verticalement sur les fibres tronquées et perpendiculaires de la cicatrice (XVI, 8 *f*) comme sur les fibres parallèles qui en embrassaient le tour (XVI, 8 *f*).

En général les tissus ligneux descendent ou coulent perpendiculairement, quand rien ne s'oppose à leur marche.

Mais s'ils rencontrent des entraves de quelque nature que ce soit, entraves au nombre desquelles il faut compter la sécheresse, et peut-être aussi la lumière, alors ils changent de direction, jusqu'à ce que la cause qui contrariait leur marche ait cessé : ils reprennent ensuite leur route perpendiculaire primitive.

Si l'obstacle est formé par la décortication d'une partie du tronc, et que la plaie qui en résulte soit un carré long (XVI, 9), on voit se produire les phénomènes suivants : arrivés au bord supérieur de cette plaie, les tissus ligneux descendants (XVI, 10 *c*) ne trouvant plus dans la partie dénudée (XVI, 10 *a*) les conditions voulues, c'est-à-dire le vide, l'humidité, l'obscurité, etc. qui leur sont nécessaires, se dévient à droite et à gauche, et vont descendre le long de l'écorce. Arrivés à la base de la cicatrice, ils tendent à se rapprocher, tout en reprenant la direction perpendiculaire, direction qu'ils ne quittent plus si rien ne vient de nouveau déranger leur cours (XVI, 10 *c'*).

Les choses ne se passent pas toujours ainsi, si la plaie surtout a de grandes dimensions.

Lorsqu'elle est large et courte (XVI, 13), on voit se produire les phénomènes figurés 12, 13, 14, et elle ne tarde pas à se fermer.

Quand, au contraire, elle est étroite (XVI, 11) et longue, les tissus ligneux qui suivent le bord élevé de l'écorce tendent sans cesse à le déborder, et forment des sortes d'ondulations latérales (XVI, 11 *b*) qui s'accroissent sans cesse par la base, et finissent enfin par se réunir, et, plus tard, par couvrir entièrement le bois qui a été dénudé. Souvent même il arrive que le débordement des tissus a lieu par le bord inférieur de la plaie (XVI, 9, *c'*, 12, 13, 14 *c'*). C'est un développement de cette nature qui a produit le phénomène présenté (XVII, 15 *d'*, *d''*).

Il suffit d'écorcer ces bois, ainsi qu'Aubert du Petit-Thouars l'a fait, opération que moi-même j'ai souvent renouvelée, et de les faire macérer, afin d'enlever le tissu cellulaire et mettre les vaisseaux tubuleux à nu, pour acquérir la preuve que les choses se passent bien ainsi que je viens de l'indiquer.

Dans ce cas les tubes ne sont ni aussi longs, ni aussi droits, ni aussi distincts que dans les lianes, parce qu'ils ont été entravés dans leur développement et dans leur marche; mais ils n'existent pas moins à l'état de vaisseaux plus ou moins réticulés[1].

Le développement de la tige, dans un arbre sain, planté en plein air et dans un bon terrain, s'opère avec la plus grande régularité. Chaque branche donne naissance à ses rameaux, chaque rameau à ses bourgeons, et chaque bourgeon à ses feuilles. Ces feuilles, à leur tour, émettent chacune un nombre égal de vaisseaux tubuleux, destinés à former une nouvelle couche de bois, et qui s'organisent en descendant dans la voie du cambium. Si, au printemps, on fait une entaille à cet arbre, on reconnaît qu'à mesure que les vaisseaux descendants y arrivent, ils sont arrêtés et forment un bourrelet si la plaie est large ou circulaire, ou bien, comme nous venons de l'indiquer, qu'ils se dévient à droite et à gauche pour continuer leur marche descendante et reprendre bientôt après leur première direction. Mais à droite et à gauche ils rencontrent de l'écorce, des tissus tubuleux et des sucs

[1] Je compare cette cellulation confuse aux sels, aux acides, aux métaux, etc. troublés dans leur cristallisation.

qui leur opposent nécessairement une certaine résistance, et, dans quelques cas, les repoussent même vers l'espace qui leur est assigné, direction qu'ils prennent facilement, pour peu que cet espace soit abrité, humide et cellulifère. De là résultent les ondulations des figures 9 à 14 de la planche XVI.

La régularité de développement des tiges, par les vaisseaux tubuleux descendants des bourgeons, est telle, que, dans certains végétaux à feuilles opposées, ternées, verticillées, etc. pas une fibre n'est distraite de la direction qui lui est destinée par son point de départ; de là les tiges anguleuses, triangulaires, quadrangulaires, etc. Cette uniformité de développement est bien plus remarquable encore dans les bignoniacées, où les tissus ligneux sont généralement divisés en quatre angles qui forment la croix de Malte. (XIV, 4; XVIII, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.)

Aussi, malheur à l'arbre de ce groupe qu'on ne laisserait pas croître en toute liberté, ou qu'on mutilerait par la taille ordinaire : il ne tarderait pas à périr. Si l'on se bornait à lui couper une ou plusieurs branches, la mort ne frapperait pas le tronc en entier, mais seulement les parties qui correspondent directement à ces branches (XVII, 11 *d*, *c*, *c'*).

Ce phénomène a bien lieu aussi quelquefois sur les arbres de nos climats; mais il est plus rare et exige le concours de certaines circonstances de saison, de chaleur et d'humidité. Nos arbres jouissent généralement, à un haut degré, de la faculté d'envoyer leurs tissus radiculaires à la surface des tissus qui leur sont contigus, lors même que ces derniers sont morts, ainsi que nous venons de le voir. Ce qui n'a sans doute pas lieu, du moins aussi facilement, dans les bignoniacées. Une allée du Jardin des plantes entièrement plantée de catalpas, en offre de curieux exemples[1].

Ainsi donc, mes recherches anatomiques et toutes les observations que j'ai pu faire en organographie et en physiologie,

[1] Voyez, au Muséum d'histoire naturelle, l'allée des catalpas, située au centre du jardin, à côté de l'école des arbres fruitiers. Ces arbres, mutilés par la taille, sont tous dignes de fixer l'attention des physiologistes.

jointes à celles de tous ceux qui m'ont précédé dans cette carrière, tendent à prouver que les tissus tubuleux des feuilles, favorisés par le cambium, se développent de haut en bas à partir du mésocauléorhize (VII, 43 *c*), c'est-à-dire, de la base du mérithalle caulinaire ou tigellaire (VII, 43 *b*) de chacune de ces feuilles; que les vaisseaux des mérithalles supérieurs (VII, 41 *k*, *u*, 42, *k*, *k'*) sont primitivement intérieurs, en apparence du moins (VII, 44, *A c*), à ceux des mérithalles immédiatement situés au-dessous d'eux (VII, 44, *A b*, *a*), quelle que soit d'ailleurs la position (opposée, ternée, quaternée ou cruciée, verticillée, alterne, éparse) de ces mérithalles; mais que tous sortent au-dessous de chaque mésophyte (VII, 42, *a* à *k*), et deviennent entièrement extérieurs après la chute de leurs feuilles, en sorte que définitivement ce sont les tissus tubuleux ou ligneux des feuilles supérieures qui enveloppent tous les autres, depuis le sommet des rameaux (VII, 41 *k u*, 42 *k k''* 44, *A c*) jusqu'à l'extrémité des racines (VII, 41 *d'*, 42 *k'*, 44 *c'''*.), tandis que les tissus fibreux du liber (VII, 44 *B*, *c'*, *c'''*) s'emboîtent dans le sens inverse, c'est-à-dire que les plus intérieurs, qui correspondent également aux feuilles supérieures, sont les plus longs (VII, 44 *B*, *c'*, *c''*, *c'''*).

De là il résulte manifestement qu'une tige vivace de dicotylédone est formée : 1° de vaisseaux mérithalliens nervo-ligneux et de fibres corticales superposées, donnant l'accroissement en hauteur, et formant, les premiers, le canal médullaire et la première couche de bois, les secondes, les fibres et vaisseaux de l'écorce; 2° de deux ordres principaux de vaisseaux descendants destinés, les uns à produire et constituer le bois, les autres l'écorce : que les vaisseaux du système ascendant sont chargés, d'abord de porter la sève dans les feuilles auxquelles ils appartiennent, et plus tard, lorsque ces feuilles sont détachées, d'humecter primitivement et alternativement, les premiers, la voie du cambium (VII, 44 C *i;* XII, 16 *m*), et les couches ligneuses; les secondes, le tissu cellulaire extérieur ou parenchyme.

Je m'expliquerai plus tard sur les vaisseaux du *latex* qui se rencontrent dans toutes les parties du système ascendant et du système descendant, c'est-à-dire dans les tiges et les racines, quelquefois dans la moelle et presque toujours dans l'écorce. Ils appartiennent aux recherches microscopiques dont il sera traité dans la troisième partie de ce travail.

Maintenant, de quelle manière s'organisent les vaisseaux tubuleux et fibreux? Quelles sont les transformations qu'ils éprouvent dans leurs différentes périodes d'accroissement, depuis leur état le plus fluide jusqu'à leur état le plus solide? C'est ce qu'il faudra demander aux recherches de MM. de Mirbel, Dutrochet, Turpin, Ad. Brongniart, etc. en attendant que je puisse, comme ces savants, me livrer moi-même, plus complétement que je ne l'ai fait encore, à de laborieuses expérimentations sur ce sujet[1]. Je pourrais cependant dire par anticipation, que les nervures, ou vaisseaux nervo-tubuleux des feuilles, ne forment primitivement, quand on les observe dans les bourgeons et dans les embryons naissants (VIII, 5 *x*), que des sortes de ramifications filiformes de la voie du cambium (les trajets des anatomistes), remplies d'une matière cellulifère encore fluide et transparente, qui finit par devenir gélatineuse, puis, de plus en plus consistante et opaque au centre, à mesure qu'elle se cristallise (qu'on me passe le mot) en cellules allongées; cellules qui se groupent successivement en tubes, et dont, plus tard, au printemps, par exemple, l'élongation inférieure et l'accroissement s'opèrent dans la voie générale du cambium (VIII, 5 *r*; XII, 16 *m*), voie qui, alors, est large et turgescente.

Ces faits, à peine entrevus, doivent former le sujet de recherches subséquentes. Si j'en parle ici, c'est afin d'appeler l'attention des physiciens sur les curieux phénomènes de la cellula-

[1] Quelques mois des années 1836 et 1837, et l'année 1838 tout entière, ont été consacrés à ce genre de recherches. Bientôt, je l'espère, je serai à même de répondre par des faits à toutes ces questions.

tion ou utriculation dans les végétaux, sur les forces qui servent à la déterminer et à la diriger.

La cellulation reste verticale, ascendante, dans la moelle, dans le parenchyme du tissu cellulaire intérieur et dans les vaisseaux nervo-tubuleux mérithalliens ; descendante, verticale et accidentellement latérale dans les vaisseaux sous mérithalliens ou radicifères (caulescents extérieurs) ; mais elle est horizontale centrifuge dans le corps ligneux des tiges et des racines (rayons médullaires, quoique les racines n'aient pas de canal médullaire), et dans les tissus épidermoïdes, ou sous-épidermoïdes subéreux de quelques végétaux, remarquables sous ce rapport, tels que le chêne-liège (*quercus suber*), l'*aristolochia labiosa*, quelques apocynées grimpantes, etc. horizontale centripète dans d'autres parties végétales, telles que les amandes emulsives (périsperme) des palmiers (*cocos nucifera* III, 9 *k*), etc. où la cellulation ou solidification a lieu, de la circonférence au centre, en passant successivement par les trois états, liquide [eau ou lait de coco] (III, 7 *y*) etc. mou [crême de coco ou coco à la cuiller des colons] (III, 7 *n*) et solide [amande ou chair de coco] (III, 7 *m*). Cette matière périspermoïde durcit au point d'acquérir l'aspect et la tenacité de la corne.

Une cellulation analogue a lieu dans les graines des céréales (froment, maïs), où le périsperme féculent est solide à la circonférence alors que le centre est encore liquide (lait ou albumen).

A ce sujet, je ferai remarquer que, dans les embryons dicotylédonés, où tout est ascendant, les cellules de l'épiderme, les cellules médullaires comme les cellules fibro-tubuleuses des mérithalles sont allongées dans le sens vertical (XI, 4) ; que ces cellules se développent uniformément, et de telle sorte que, si l'on prend un premier mérithalle embryonnaire long de six lignes (XI, 15), et qu'on le divise en douze parties au moyen de points colorés (XI, 15 *a*), on trouvera, quand ce mérithalle aura acquis un pouce de longueur (XI, 16 *a*, *b*), ces points colorés à une ligne de distance les uns des autres, ou autrement dit,

accrus régulièrement chacun d'une demi-ligne, dans toute la longueur de ce mérithalle (XI, 16 *a*, *b*).

Le système ascendant des végétaux monocotylédonés, et monocotylédonés par bourgeonnement, ou acotylédonés fibreux, et sans doute de toutes les productions végétales, se trouve soumis aux mêmes lois de développement. Il est cependant des cas où ce développement n'est pas simultané dans les trois mérithalles, tigellaire, pétiolaire, limbaire[1] des embryons et des feuilles, ce qui est dû a des causes de chaleur ou d'humidité, et d'autres cas où il est régulièrement et constamment inégal. Cela servira à expliquer les nombreuses anomalies qu'éprouvent ces parties dans leur état normal, comme dans leurs modifications diverses[2].

Mais mon but n'est pas d'entrer ici dans les détails approfondis de cette question importante: ces détails seront convenablement exposés ailleurs; j'ai dû, dans ce Mémoire, me borner à faire connaître le mécanisme, pour ainsi dire grossier, de l'organisation des végétaux dicotylédonés, tel que je le comprends; à le suivre dans sa marche et dans ses résulats; enfin à ramener à des lois plus rationnelles et peut-être plus simples, les principes d'une science qui, malgré tant de travaux importants, semble néanmoins rester stationnaire en présence du mouvement progressif et général imprimé aux sciences physiques.

Il suffira, je pense, de rappeler les altérations qu'éprouvent les feuilles, les modifications que subissent toutes les parties des fleurs et des fruits, portées, par un excès de force végétative, à leur état primitif de feuilles, ou de plus en plus réduites par la décroissance de cette même force, pour donner une idée de l'immense variété de phénomènes produits par le système supérieur, et pour justifier les rapports qui existent entre ces différentes parties. Ces rapports, la nature nous les a déjà montrés, sous mille formes, dans la transformation des calices en feuilles, des corolles en calices et

[1] Duhamel a aussi démontré ce fait.

[2] Il faudrait entrer dans des détails qui excéderaient les bornes de ce Mémoire : ils trouveront place ailleurs.

des étamines en corolles; dans les métamorphoses si nombreuses des organes, dits femelles, de la reproduction; dans la conversion des fruits en feuilles et en folioles, des ovules en bourgeons, et, dans quelques cas plus rares, des feuilles et des folioles en fruits.

Ces faits qui, pour la plupart, sont vulgaires aujourd'hui, seront soigneusement recueillis, énumérés avec ordre et détail, et décrits au besoin s'ils sont récents, peu ou mal connus. Tous seront présentés à l'appui des nouveaux principes.

Alors toutes ces parties anomales prouveront, pour ainsi dire d'elles-mêmes, qu'elles n'ont pas, ainsi que tout ce qui se rattache au système supérieur ou mérithallien des végétaux, d'autre origine que le bourgeon où tout s'organise primitivement; qu'elles ont des prolongements radiculaires ou sous-mérithalliens plus ou moins complets, selon le rang qu'elles doivent occuper, et conséquemment selon le rôle physiologique qu'elles sont appelées à jouer dans les phénomènes de la végétation ou dans ceux de la reproduction; que ces prolongements radiculaires ou sous-mérithalliens suivent dans la voie du cambium, où ils s'organisent et descendent avec une force qui est relative à leur ordre d'organisation, la même marche que ceux des feuilles avec lesquels ils prennent annuellement leur rang.

Les principes établis sur la division des feuilles, en mésophylles, mésophytes et mésocauléorhizes, ou autrement dit en trois mérithalles : 1° Mérithalle inférieur (tigellaire, caulinaire, etc.); 2° mérithalle moyen (pétiolaire, carpellaire, androphorien, etc.); 3° mérithalle supérieur (limbaire, stylifère, antérifère, etc.), me conduiront aussi à expliquer un grand nombre de phénomènes d'organographie, qui, à ma connaissance du moins, ne l'ont pas encore été. Tels sont : la déhiscence du limbe calicinal de quelques myrtées [*eucalyptus* (VI, 17, 18)]; la déhiscence des fruits des lécythidées [*lecythis, couroupita*] (VI, 2); des lysimachiées [*anagallis*] (VI, 15); du pavot [*papaver*] (VI, 19); des calices et des fruits des solanées [*datura* (VI, 16, *a*) *hyoscyamus*] (VI, 20, *a*); des labiées [*scutellaria*]; de quelques cucurbitacées anomales [*coura-*

tari (VI, 3) *zanonia*], déhiscence qui, dans la plupart de ces exemples, a sans doute lieu au point des mésophylles carpelliens. Dans ces fruits, les opercules ou *amphores* sont exactement dans le cas des feuilles ou folioles qui se détachent, ou par sécheresse, comme celles des arbres de nos climats aux approches de l'hiver, ou par excès d'humidité[1]. Les plantes dont les fruits operculés s'ouvrent par la sécheresse générale des parties sont : les *anagallis* les *papaver,* les *lecythis;* dans les autres, la déhiscence a lieu par l'inégalité de dessiccation de la capsule relativement à l'opercule, comme dans les *hyoscyamus,* dont les capsules se dessèchent généralement avant les opercules. Dans beaucoup d'autres plantes, spécialement dans le *solanum dunalianum,* le mésophylle articulaire est situé à la base du style[2].

Les opercules des graines de quelques scitaminées (*canna*), asparaginées, commelinées (*tradescantia, commelina*), palmiers (*phœnix*), nymphæacées (*nymphæa*), cactées (*cereus*), etc. qui sont dus essentiellement à l'endurcissement du sommet de la secondine, par l'action des gaz qui pénètrent dans les ovaires, représentent peut-être aussi le limbe de ces feuilles ovulaires (VI, 24, 25 *b*, 26 *i*, 27 *g*). Il en serait ainsi de la primine, si, se développant plus que la secondine, son sommet allait terminer l'ovule; alors, ce sommet étant libre, plus mince et plus sec, pourrait aussi durcir plus promptement et se détacher au point (*b*, VI, 23) qui, dans ce cas, indiquerait intérieurement le sommet de la secondine.

Appliquée à la botanique descriptive, la théorie des mérithalles et de leurs développements divers fournira une foule de caractères essentiels qui ont peut-être été observés et décrits, mais dont l'importance n'a été que faiblement appréciée jusqu'à ce moment.

Quoique ce ne soit pas ici le lieu d'entrer dans de semblables

[1] Tous les mérithalles peuvent se séparer les uns des autres : les folioles, des feuilles; les feuilles, des pétioles; les pétioles, des tiges; les cotylédons (VI, 14), des radicules ou cauliculés; les styles, des ovaires; les ovaires, des pédoncules ou des rameaux; les anthères, des filets, etc.

[2] *Voyage de l'Uranie,* Botanique, pl. XXXVI, fig. 11.

détails, je signalerai pourtant le parti que j'ai tiré de ces caractères de simple développement dans les mérithalles carpellaires des pipéracées[1], groupe très-naturel, autant par les organes de la végétation que par ceux de la fructification, mais offrant, malgré cela, de nombreuses et remarquables anomalies.

Cette tribu, qui forme un démembrement naturel de la famille des Urticées, dont j'ai fait, en 1826, une revue générale, ne se composait, dans le *Genera plantarum* du célèbre Ant. L. de Jussieu, que du seul genre *piper*. Depuis, en 1820, MM. Al. de Humboldt, Bonpland et J. S. Kunth en ont proposé un second, le genre *peperomia*, qu'ils ont formé aux dépens du premier.

Une étude approfondie de l'organisation de ces plantes et des modifications qui s'opèrent dans les parties de la fleur, m'ont porté à en admettre un assez grand nombre d'autres qui sont fondés sur des caractères légers en apparence, mais constants.

Ainsi, le *piper nigrum* forme le type du genre PIPER, caractérisé par des ovaires sessiles, par des écailles calicinales foliacées, longues, décurrentes, etc. (VI, 30).

Le genre *cubeba*, fondé sur le *piper cubeba*, se distingue du précédent par des spadices pédonculés, courts, par des écailles sessiles, plus petites, et spécialement par un pédicelle (*gynophore*) qui se développe constamment après la fécondation; d'où la conversion d'un spadice en une grappe (VI, 28).

Le *serronia*, peu distinct en apparence du *cubeba*, en diffère pourtant par de nombreux et bons caractères. Ses fleurs, également sessiles et en spadice au moment de la fécondation, sont pédonculées et en grappes après par le développement d'un pédicelle (*gynandrophore*), ou sorte de pédoncule particulier, qui résulte de l'accroissement simultané du mérithalle inférieur ou caulinaire des étamines et des pistils soudés, tandis que les écailles restent seules, isolées et éparses sur les rhachis (VI, 29). D'autres caractères fournis par l'organisation des tiges, par le

[1] Mémoire inédit qui fait partie d'un travail général entrepris sur l'ancienne famille des Urticées.

nombre des étamines, qui est constamment de quatre dans le *serronia*, de deux dans le *cubeba*, le *piper*, *etc.* achèvent de distinguer convenablement ces genres qui, comme on le voit, peuvent être, en partie, fondés sur de simples caractères de végétation.

Si je ne m'abuse pas, si les principes que je viens de proposer sont vrais, s'ils rendent bien compte des phénomènes que je signale, alors je pourrai facilement expliquer aussi les faits nombreux et nouveaux fournis par les collections phytologiques que j'ai apportées dans ces derniers temps des côtes du Brésil, du Chili et du Pérou (XVIII), faits qui me semblent inexpliquables par tout autre système, et rendre un compte assez satisfaisant d'une foule d'autres phénomènes d'organographie et de physiologie dépendant des deux systèmes ascendant et descendant des feuilles. Je démontrerai, par exemple, que les tiges dites fasciculées des sapindacées[1] (XVIII, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21; XIII, 1, 2, 3, 4) grimpantes sont dues au seul mode de développement des premières feuilles, et conséquemment à la disposition primitive des vaisseaux de leurs mérithalles alternes, croisés et successivement couverts plus tard, dans le même ordre, par les vaisseaux sous-mérithalliens ou descendants de toutes les autres feuilles. J'expliquerai encore, et non moins facilement, l'organisation des *calycanthées*, des *bignoniacées* à tiges cruciées, des *bauhinia* (XVIII, 1, 3), *rhynchosia*, *abrus*, et des autres légumineuses grimpantes (XVI, 17) à tiges déprimées, rubannées, à canal médullaire excentrique crucié (XVIII, 2); à couches ligneuses zonées, etc. (XVI, 17; XVIII, 12, 13) et beaucoup d'autres phénomènes d'organographie et de physiologie dépendant du système ascendant et du système descendant des feuilles, notamment la nature des vaisseaux dits médullaires, qui caractérisent les cactées, les pipéracées (XIV, 1, 2, 3 *e*, *e'*, *e''*), les bégoniacées, les polygonées, les chénopodées, les mélastomacées, etc. et qui ne sont autre chose que des vaisseaux mérithalliens rendus distincts

[1] Voyez *Archives de botanique*, 1833, II, p. 9, 12, tab. XIX, fig. 5, 6.

par le mode de développement des feuilles de ces plantes; vaisseaux qui, sous certains rapports, rapprochent les tiges de quelques végétaux dicotylédonés de celles des monocotylédonés.

J'indiquerai aussi de quelle manière se développent ces sortes de feuillets ligneux (XV, 8), qui, à la base du tronc et sur les racines des grands arbres des forêts maritimes sombres et humides des régions équatoriales, forment des sortes de chambres assez larges et assez profondes pour loger douze ou quinze hommes. Ces espèces de parois, dont on peut voir un exemple en petit dans la belle gravure de M. de Clarac, portent, dans nos colonies françaises, le nom d'*accabas*.

Ces feuillets ligneux, les bornes ou exostoses du cyprès distique (VIII, 10, 11), certaines loupes et nodosités, etc. ne sont que des expansions celluleuses[1] (VIII, 6 *a*, *a'*) recouvertes par les vaisseaux tubuleux du système inférieur (VIII, 8 *a*) qui, sous l'écorce et dans la voie prolongée du cambium, ont la faculté de se diriger dans toutes les directions, même de bas en haut (XVI, 18 *d*; XV, 3-5 *a*, 7 *a*, *a'*; XVII, 15, *d' d''*).

Plusieurs causes principales déterminent la formation des accabas : l'absence d'air et de lumière, l'action délétère de l'eau salée, qui pénètre ordinairement les terrains où se produisent ces singuliers phénomènes, et peut-être aussi le besoin qu'éprouvent ces parties ligneuses de se diviser le plus possible, de multiplier leurs surfaces afin de puiser plus facilement dans l'air les vapeurs dont il est constamment saturé, et les gaz constituants de cet air lui-même.

Mais ces principes acquièrent une bien plus grande importance encore par leur application à l'agriculture, et spécialement à la culture des arbres, en nous enseignant l'art de les obtenir grands et vigoureux, en nous apprenant à les préserver des nombreuses maladies qui les attaquent naturellement

[1] Ces expansions celluleuses peuvent être comparées aux rayons médullaires des racines et de quelques tiges souterraines. Elles donnent naissance aux racines adventives de la carotte (VIII, 9, *a.*), etc.

ou qui proviennent très-souvent d'opérations de culture mal dirigées, telles que la taille, par exemple, et qui ont pour résultat fréquent la mutilation de ces arbres ou même leur destruction totale. Il suffira de se promener une heure seulement dans les allées de nos parcs, de nos boulevards ou de nos jardins publics, pour en remarquer des centaines d'exemples. Le plus extraordinaire sans doute, et que chacun peut voir facilement, nous est offert par les arbres de l'avenue du Luxembourg qui conduit à l'Observatoire.

Cette allée, qui se dirige du nord au sud dans le plan du méridien de Paris, se compose de quatre rangs d'arbres (*æsculus hyppocastanum*); deux au centre, plus forts, et deux latéraux, l'un à l'est, l'autre à l'ouest. Qu'on examine les arbres de ce dernier rang, sur leur face exposée à l'ouest, on trouvera à cinq ou six pieds de haut, c'est-à-dire un peu au-dessus de la haie qui en protége la base, de longues et profondes crevasses, au centre desquelles le bois est souvent mis à nu et plus ou moins désorganisé (XIV, 9). Ces accidents proviennent certainement de la mauvaise manière de tailler ces arbres. Les jardiniers, qui croient que les tissus ligneux se développent de bas en haut et en rayonnant du centre vers la circonférence, donnent à ces arbres, dès leur jeunesse, la forme dite en éventail, en coupant les branches et les rameaux intérieurs et extérieurs. Qu'arrive-t-il de là? Que ces deux côtés extérieur et intérieur des tiges, étant annuellement privés de leurs bourgeons, et conséquemment des vaisseaux fibro-tubuleux sous-mérithalliens des feuilles, sont généralement déprimés, plus faibles et peut-être plus celluleux; tandis que les deux autres, ceux qui sont situés dans le plan de l'allée, acquierent un grand développement; et que par suite de l'absence ou de la rareté des vaisseaux ligneux du côté qui est situé à l'ouest, la chaleur a une grande action sur ces parties affaiblies et y occasionne des lésions tellement larges et profondes que souvent elles deviennent mortelles (*brûlures*).

Les accidents de ce genre produits par le froid sont si com-

mums, même sur les arbres vigoureux de nos forêts, qu'il me paraît inutile de les rappeler ici (*gélivures*).

Vous le voyez, messieurs, par cet extrait, mes principes sont arrêtés et reposent sur une base que je crois solide. Je me suis trouvé placé dans la nécessité d'employer quelques noms nouveaux, et d'autres qui ne sont pas généralement admis dans le vocabulaire de la science. Mais ces termes ne sont pas irrévocablement fixés. Si ces principes étaient adoptés, j'en appellerais, pour la confirmation de ce point important de la science, aux lumières des savants placés à la tête de l'enseignement.

CHAPITRE II.

VÉGÉTAUX MONOCOTYLÉDONÉS.

Dans la première partie de ce travail, j'ai établi :

1° Que tout[1], dans les végétaux vasculaires dicotylédonés, se forme dans les bourgeons;

2° Que ces bourgeons[2], qui prennent naissance au sein du tissu cellulaire, sont composés de parties homogènes, mais formant des verticilles différents[3], et susceptibles, selon le rang qu'elles occupent, de développements divers; d'où résultent les organes connus sous les noms de feuilles, d'écailles, de calices, de corolles, d'étamines, de carpelles, d'ovules, de cotylédons, etc.

3° Que ces organes ne sont que les divers états de modification d'un végétal originel unique, le *phyton;*

[1] Toutes les productions improprement dites appendiculaires, et leurs prolongements inférieurs ou radiculaires, prennent leur origine dans les bourgeons.

[2] Les bourgeons sont actifs ou latents. J'appelle bourgeons latents ceux qui restent à l'état rudimentaire. Quelques-uns de ces bourgeons, quoique réduits, pour ainsi dire, à l'état d'une cellule organisée, donnent malgré cela des tissus radiculaires très-ténus. Ils nous serviront à expliquer la formation de certaines productions anomales des végétaux.

Les bourgeons latents peuvent devenir actifs.

[3] Il ne faut pas attacher à ce mot la seule valeur qu'on lui donne en botanique. Je considère comme verticilles tous les tours d'une spire.

4° Qu'ils se composent tous, à leur état normal, de trois parties principales généralement très-distinctes, auxquelles j'ai provisoirement imposé le nom de mérithalles [1], nom qui a précédemment été donné à l'une d'elles; d'où les mérithalles inférieur [2] (I, 1 *a*; 2, *a*, *a'*, *a''*; 3 *a*), moyen [3] (I, 1 *b*; 2 *b*, *b'*, *b''*; 3 *b*), et supérieur [4] (I, 1 *c*, 2, *c*, *c'*, *c''*; 3 *c*): ces dénominations, qu'il m'a paru essentiel d'établir, trouveront plus tard d'utiles applications;

5° Que ces trois parties principales du végétal primitif sont représentées par la tigelle [5] (la radicule des auteurs), le pétiole et le limbe d'une feuille cotylédonaire;

6° Qu'elles se développent de bas en haut à partir d'un point donné [6], et constituent le système ascendant des végétaux; système caractérisé par la présence de vaisseaux particuliers, parmi lesquels dominent les trachées, etc.

7° Que l'accroissement de ces parties, simultané et régulier dans quelques cas, ne l'est pas dans quelques autres;

8° Que de la base de ce système ascendant ou aérien part un système descendant ou radiculaire (I, 1 *e*, 2 *e*, 3 *e*) qui se distingue par des vaisseaux tubuleux (vaisseaux fendus, rayés, ponctués, etc.), qui tous sont plus ou moins susceptibles d'être déroulés naturellement ou par déchirement;

9° Que ce système descendant contribue, pour une grande partie, à la formation des couches ligneuses du tronc et fibreuses de l'écorce, ou, autrement dit, à l'accroissement en largeur du tronc des végétaux dicotylédonés vivaces et de leurs racines, ainsi que l'ont depuis longtemps avancé, en France, Lahire, Aub.

[1] Ce second mémoire, d'après le plan que j'avais adopté en 1834 et 1835, devait être imprimé à part. C'est pour cela que j'ai reproduit ici quelques-uns des principes généraux qui sont établis dans le premier mémoire.

[2] La tige, le pédoncule, le gynophore, l'androphore, etc.

[3] Le pétiole, l'ovaire, le filet de l'étamine, etc.

[4] Le limbe de la feuille, le style ou stigmate, l'anthère, etc.

[5] La tigelle, ou ce qu'on nomme ordinairement la radicule dans les embryons. Cette seule partie sert à la composition des tiges.

[6] Le mésocauléorhize, I, 1 *f*, 2 *g*, 3 *c*.

de Petit-Thouars, M. Poiteau, etc. et spécialement, parmi les étrangers, MM. Lindley, Agardh;

10° Que, d'après cela, une tige de dicotylédone est formée primitivement de deux ou de plusieurs cotylédons, ordinairement deux, c'est-à-dire de deux ou plusieurs végétaux primitifs simples ou embryons monocotylédonés (I, 5, *a c, a c;* II, A C, A C), puis de feuilles régulièrement ou irrégulièrement opposées, situées les unes au-dessus des autres (d'où l'accroissement en hauteur [I, 6, *a c, a' c', a'', c'';* II, E F]), dont les mérithalles inférieurs ou tigellaires, plus ou moins développés et persistants (I, 5, *a a;* 6, *a a, a' a', a'' a'';* II, A A, E F), sont successivement couverts par les tissus radiculaires ou descendants des feuilles de tous les verticilles supérieurs, soit de l'année, soit des années subséquentes (II, 25, 24, 24'), et par des couches également successives de tissus cellulaires ou utriculaires de différente nature (d'où l'accroissement dit en largeur des tiges, en épaisseur des couches concentriques, etc.).

Des faits aussi nombreux que concluants ont été donnés à l'appui de ces nouveaux principes, et serviront plus tard à les démontrer.

Aujourd'hui je vais chercher à prouver, dans un résumé plus succinct encore, que les tiges ligneuses des végétaux monocotylédonés sont à peu de chose près organisées comme celles des végétaux dicotylédonés, et qu'elles s'accroissent de la même manière, c'est-à-dire par un système ascendant, par un système descendant et par un développement utriculaire[1] improprement nommé rayonnement médullaire. J'ai dit qu'un embryon monocotylédoné n'a primitivement qu'un système vasculaire enveloppant[2]; ce qui résulte, comme chacun le sait, de la disposition ordinairement roulée de cette feuille cotylédonaire (I, 1, 2 *a*, 3, 7, 8, 9, 13; IV, 2, 2', 3, 3', 3'', 4, 4', etc. III, 4).

[1] M. de Mirbel nous a enseigné les divers modes de développement de ces tissus.

[2] Bientôt je ferai connaître la composition de ce système et les modifications qu'il éprouve dans les plantes de ce groupe à feuilles réduites, non engaînantes; ce qui me conduira naturellement à l'application de ces nouveaux principes aux théories des spires et des verticilles, et enfin à la question plus importante encore de l'organisation des fleurs et des fruits.

Au centre de cette première feuille, centre uniquement composé de tissu cellulaire, il s'en développe bientôt une seconde (I, 1 *d*, 2 *a'*, *c'*, 9 *k*), puis une troisième (I, 2 *a''* *c''*, 9 *l*), et enfin un nombre déterminé, normal pour chaque espèce végétale.

De la base de la seconde feuille, base qui est indiquée dans le tissu cellulaire naissant par des points sphéroïdes transparents, fluides ou gélatineux, et qui sont en rapport avec les nervures de cette même feuille, partent obliquement, de haut en bas et du centre vers la circonférence, des sortes de tubes vermiculés, dichotomes d'abord, puis rameux, à rameaux généralement sinueux, anastomosés, qui vont sortir au-dessous du pétiole (II, 24, 24', 25[1]) de la première feuille, entre les vaisseaux de son mérithalle tigellaire, et descendent ainsi, extérieurement et parallèlement à ces vaisseaux, jusque dans la radicule (II, 25') et dans les racines de la jeune plante (II, 12''); les vaisseaux descendants de la troisième feuille s'agencent avec ceux de la seconde, comme ceux-ci l'ont fait avec les vaisseaux de la première, et ainsi de suite pour toutes les autres feuilles, de même que pour celles des bourgeons (II, 15, 16, 12'').

Ces vaisseaux tubuleux ou radiculaires ne descendent pas toujours aussi régulièrement jusqu'à la racine. Il arrive souvent, surtout dans les tiges articulées, creuses et à mérithalles ordinairement très-développés, que, rencontrant des voies plus humides ou plus convenablement préparées, ils se détournent de leur route naturelle pour se porter, en totalité ou en partie, tantôt à la circonférence des tiges, pour former des racines (I, 2, *i k*; II, 27, 27'; VIII, 4, *r r'*; X, 1, *h*), tantôt au centre, pour former des articulations (VIII, 4 *m*, *m'*; XIV, 11, 12 *c*, *c'*, *c''*), des diaphragmes, des cloisons; d'autres fois pour produire ces deux effets à la fois (VIII, 4 *m r*, *m' r'*; X, 1 *h*). Ce qu'il est facile d'observer dans les nœuds des graminées (*maïs*, *saccharum*, *sorghum*, *bambusa*, *arundo*, *etc.*), des scitaminées (*canna*), de

[1] Je l'indique ici sur une dicotylédone, parce que sur la figure 3 et la planche I cela n'est pas assez nettement désigné.

quelques ombellifères (*phellandrium aquaticum*), et ce que je démontrerai aux articles qui traiteront spécialement de ces parties, c'est-à-dire des nœuds, des articulations, des diaphragmes, des cloisons, ainsi que des bourgeons, des racines, etc.

Comme dans les monocotylédones, le mérithalle tigellaire ou inférieur de la feuille est généralement très-réduit ou manque totalement (I, 9 *c*; IX, 2 *a*, 5 *a''*), les vaisseaux du système descendant ou radiculaire des feuilles supérieures se croisent immédiatement avec ceux du système ascendant des feuilles inférieures; d'où résultent ces lacis inextricables offerts par toutes les tiges des grandes monocotylédones ligneuses dans leur coupe verticale [*palmæ, drancœna, xanthorrhœa* (X, 13 *b*), *pandanus, freycinetia, carludovia, pothos, etc.*].

Les monocotylédones herbacées, qui sont en apparence si distinctes des monocotylédones ligneuses, ont cependant la même organisation primitive.

Les bulbes de nos asphodèles nous en fournissent des exemples. L'*allium porrum* est l'espèce sur laquelle il est le plus facile de le démontrer (IX, 2, 5).

On sait que cette plante a les feuilles engaînantes, distiques, munies de nervures droites, nombreuses, et de plusieurs sortes (IX, 2, 5 *a*, *a'*). Si l'on coupe en long une de ces plantes, dans la direction d'une nervure principale (IX, 2, 5), on voit distinctement que cette nervure part d'un point situé vers le centre de la tige (IX, 2 *a*, 5 *a''*), et que de ce point elle se prolonge inférieurement du centre vers la circonférence, en ramifications sinueuses qui s'entrelacent pour ainsi dire avec tous les faisceaux des fibres ascendantes des feuilles inférieures (IX, 5 *b b'*), de manière à couvrir tous les faisceaux vasculaires descendants de ces mêmes feuilles.

Si maintenant nous supposons qu'à partir de ce point central (IX, 5 *a''*) ces vaisseaux changent de nature (IX, 5 *b*, *b'*), et qu'ils se modifient une seconde fois en passant de la tige dans les racines (IX, 5 *c*, *c'*, *c'*), des racines dans les radicelles, nous

trouverons tout naturellement l'explication d'une foule de faits qui n'ont encore été que constatés, tels que le passage des vaisseaux rayés, fendus, etc. à l'état de vaisseaux ponctués, poreux, etc.

Ces sortes de transformations ont-elles réellement lieu? Je pense qu'il sera facile de le démontrer.

Mais, si je ne puis donner ici les preuves qu'il me faudra nécessairement produire à l'appui de ces assertions, je dirai, du moins par anticipation:

Que dans le système ascendant de chaque feuille, système compris entre le point central (IX, 5 *a*″) et le sommet du limbe, ce sont les trachées qui dominent, et que dans le système descendant ou inférieur (le bois, ou ici le plateau) et extérieur (les racines), ce sont les vaisseaux ponctués, poreux, rayés, fendus, etc.

Mais, je le réitère, je dois me borner ici à des faits généraux sur le mécanisme du développement des tiges monocotylédones, me réservant de faire connaître, dans un autre mémoire, les végétaux qui échappent à cette loi générale, les causes probables qui donnent naissance à ces modifications, et tout le parti qu'on pourra tirer de ces anomalies pour une nouvelle classification des végétaux.

Si l'on se rappelle que chaque feuille de l'*allium porrum* est munie de trente à quarante nervures principales (IX, 5 *a*), d'un nombre égal de nervures secondaires alternes avec les premières (IX, 5 *a*′), et d'une plus grande quantité de nervures tertiaires; que toutes ces nervures aboutissent intérieurement vers un point circulaire situé au centre de la tige (IX, 4 *g*, 5 *g*); que ces feuilles, au fur et à mesure que le centre du plateau s'accroît, s'élargissent elles-mêmes par l'adjection de nouvelles feuilles au centre des premières, et que leur partie inférieure est déjetée du centre vers la circonférence, et de haut en bas, de manière que les nervures de leur système ascendant, primitivement redressées, s'inclinent progressivement, même jusqu'au-dessous de la ligne horizontale, alors on concevra la singulière disposition

de ces vaisseaux dans la coupe transversale de certaines tiges arborescentes (X, 10, 11, 12, 13, 15), ainsi que dans celle du plateau des asphodèles, où ils figurent exactement des rayons médullaires (IX, 3, 4).

C'est ainsi qu'ils se montrent très-visiblement dans l'*allium porrum* (IX, 3, 4), l'*allium cepa;* dans des nœuds et dans l'axe des épis du maïs (*zea mays*), de quelques houques (*sorghum vulgare et cernuum, penicillaria spicata*), dans la canne (*arundo donax* [X, 4, 5]), dans la canne à sucre (*saccharum officinarum*), et, d'une manière plus remarquable encore, dans les tiges ligneuses du *xanthorrhœa resinosa* que, en 1819, j'ai apportées de la Nouvelle-Hollande (X, 10, 11, 12, 13; 15; de Cand. org. tab. 7, 8).

Les physiologistes s'accordent généralement à dire que, dans la formation d'un bourgeon, des vaisseaux de différente nature, et spécialement des trachées, se dévient de la tige ou des rameaux pour se porter dans ces bourgeons.

Mes études anatomiques et microscopiques ne me permettent pas d'admettre ces suppositions. Loin de là tout me porte à croire que le bourgeon, quel que soit le point du végétal où il se forme, est entièrement composé d'éléments organiques primitivement liquides, qui se condensent et se concrétient progressivement en masses ou en exfoliations celluleuses, au sein desquelles se sont formées, sous des conditions diverses, des sortes de canaux ou trajets réguliers remplis de fluides gélatineux, qui plus tard deviennent les nervures, les fibres, les vaisseaux : peu importe, quant à présent, la nature de ces vaisseaux et les noms qu'on leur a donnés.

De la base de ces masses ou exfoliations, qui sont destinées à produire les corps dits appendiculaires[1], c'est-à-dire les écailles, les feuilles, les bractées, les stipules ou les différentes parties des fleurs et des fruits, selon la position et l'ordre de développement de ces corps; de cette base, dis-je, et du point d'où sont

[1] Tout est appendiculaire dans les végétaux vasculaires. Il n'y a d'axifère que la moelle.

partis les trajets destinés à former les tissus vasculaires du système ascendant, partent inférieurement ou, si l'on veut, à cette base aboutissent d'autres trajets ou canaux, destinés à recevoir et peut-être même à former les vaisseaux du système descendant ou radiculaire, les vaisseaux dits tubuleux, ponctués, fendus, rayés, etc.[1].

Les trachées appartiennent seulement au système ascendant des végétaux vasculaires phanérogames, et ne se rencontrent pas dans les vraies racines[2].

On sait que dans les dicotylédones, ces trachées se trouvent au centre des tiges et des rameaux, où elles forment le canal médullaire, et dans toutes les parties des organes produits par le système ascendant de ces végétaux[3]; que dans les monocotylédones, elles sont en apparence éparses au centre des tiges (V, 5, 6, 7, 8, 9, *a*), et là, renfermées dans chaque faisceau vasculaire.

Si, au printemps, on coupe transversalement le tronc ou les gros rameaux d'un arbre, de l'une ou de l'autre des deux classes des végétaux monocotylédonés ou dicotylédonés (V, 5; XVII, 8.), on ne tarde pas à voir sortir des bourgeons, soit au sommet de la tranche, entre l'écorce et le bois (XVII, 8 *a, b, c.*), soit au-dessous de ce sommet, au travers de l'écorce (V, 5; *b, b', c,* XVII, 8 *d, e.*), ou au centre des cicatrices des feuilles.

Or je ne sache pas que, jusqu'ici, personne ait cherché à démontrer que les trachées qu'on déroule facilement dans toutes les parties de ces jeunes bourgeons soient les prolongements des trachées du centre de ces tiges ou de leurs rameaux, quoique cela ait été souvent dit.

Si cette supposition pouvait être faite, il suffirait, pour la détruire entièrement, de rappeler la végétation des arbres creux

[1] Nous décrirons plus tard, à l'article racines, les vaisseaux spiraux divers qu'elles renferment.

[2] D'après mes propres observations et celles de quelques physiologistes, cette règle ne serait pas sans quelques exceptions; mais en admettant ces exceptions, qui toutes ne sont pas encore bien démontrées, la loi n'en serait pas moins générale.

[3] Les écailles, les calices, les pétales, les étamines, les carpelles, et, jusque dans le funicule, le raphé, la chalaze et la primine des ovules.

(*salix, dracæna, etc.*), dans lesquels le canal médullaire et tout le bois intérieur sont détruits souvent depuis longtemps, et qui malgré cela fournissent chaque année de nombreux bourgeons.

Mais ce qui prouverait bien mieux encore que les trachées des bourgeons et des rameaux qu'ils produisent ne sont pas des prolongements de celles qui occupent le centre des tiges et des branches, mais qu'elles se créent bien dans l'acte de l'organisation des parties qui les composent, c'est que les bourgeons, qui dans certaines circonstances se développent sur les racines, ont également des trachées, tandis que les racines n'en ont réellement pas (XVII, 8 *f, g, h*)[1].

Tout le monde connaît l'expérience de l'arbre renversé de Duhamel, et des bourgeons qui se développent sur les racines converties en branches.

Or si ces faits prouvaient que les trachées se forment spontanément, pourquoi n'admettrait-on pas qu'il en est ainsi du bourgeon lui-même, quelle que soit d'ailleurs sa base végétale?

Disons le donc avec franchise, puisque telle est notre conviction :

Non, rien de fibreux, rien de celluleux, rien de solide enfin, ne monte de la tige ou des rameaux dans les bourgeons pour les constituer; tout s'y forme spontanément par des éléments organisateurs et non par des éléments organisés, tandis qu'au contraire des sucs élaborés et en partie organisés (cambium), des tissus fluides encore se forment et se solidifient en descendant de ces bour-

[1] Quelques végétaux ont à la fois des racines de plusieurs sortes : les unes ont les vaisseaux fibreux au centre; les autres les ont à la circonférence, etc.

Je suis porté à croire que les vraies racines n'ont pas de trachées : c'est aussi l'avis de plusieurs autres physiologistes.

Les vaisseaux de différente nature (vaisseaux spiraux, fausses trachées; vaisseaux rayés, vaisseaux ponctués, etc.), et plus ou moins déroulables, naturellement ou par déchirement, qu'on rencontre au centre de certaines racines (les racines adventives surtout, *piper, pothos, mays, etc.*) de liliacées, d'asphodèles, etc. nous paraissent distincts des trachées du système ascendant de ces végétaux. Mais fût-il démontré qu'on rencontre aussi de véritables trachées dans les racines, cela n'infirmerait en aucune façon les principes généraux établis dans ce travail sur le développement et sur l'accroissement des végétaux vasculaires.

geons sur les rameaux, des rameaux sur les tiges et des tiges dans les racines (II, 15, 16, 24, 24', 25, etc. XIII, 5, *g.*), par un mode d'allongement analogue à celui des racines, s'il n'est entièrement le même [1].

Cette règle est générale pour tous les végétaux vasculaires.

Si, un mois après l'apparition des bourgeons situés au sommet d'une tige tronquée de monocotylédone (V, 5 *b, c*) ou de dicotylédone (II, 5, 6), lorsque ces bourgeons ont plus ou moins complétement opéré l'évolution de leurs feuilles et de leurs jeunes rameaux, on les dissèque par la macération à froid, dans l'eau, on voit successivement s'en détacher l'épiderme, le tissu cellulaire extérieur vert; puis, peu à peu, les vaisseaux propres de l'écorce (fibres, vaisseaux du latex, liber) et le tissu cellulaire blanchâtre des rayons médullaires. On trouve alors les nouveaux vaisseaux tubuleux ou radiculaires complétement mis à nu, formant une sorte de griffe (V, 8, 9 *d;* XIII, 5 *g*) appliquée à la surface des tissus tubuleux anciens de la tige (V, 8 *b, b'*, XIII, 5 *a, a'*). Ces vaisseaux, qui n'ont encore qu'une certaine longueur, sont blancs, à peu près libres, ou sinueux et légèrement anastomosés par les angles de leurs sinuosités.

Si, un mois plus tard, on examine un second bourgeon de la même époque et du même sujet, également situé vers le sommet d'un rameau tronqué, afin que ses tubes radiculaires ne soient pas confondus avec ceux des bourgeons qui seraient situés au-dessus de lui, on trouvera le même phénomène, mais singulièrement accru par la superposition des nouveaux tubes radiculaires qui sont descendus du rameau et ont recouvert les premiers, et peut-être par l'accroissement en tout sens de ceux-ci (V, 6 *c;* XIII, 5 *g;* XVI, 18 *c, c'*).

Eh bien! ce qui se produit naturellement ici par le dévelop-

[1] Dans beaucoup de cas, de véritables racines partent aussi de la base des bourgeons, descendent, entre le bois et l'écorce, jusqu'à la base des tiges, dont elles accroissent le diamètre; dans d'autres cas, des racines analogues descendent entre les parties simplement exfoliées et sèches de l'écorce. Les tiges des *pourretia* du Chili, des *tillandsia*, des *vellozia* et des *barbacena* du Brésil, des *kingia* de la Nouvelle-Hollande, offrent des exemples de ces cas divers.

pement d'un bourgeon, a lieu à la suite d'une greffe en écusson, également pratiquée au sommet d'une tige tronquée de monocotylédone ou de dicotylédone. Il est très-essentiel d'opérer vers le sommet d'une tige tronquée; car autrement on s'exposerait à voir les vaisseaux tubuleux produits par les bourgeons naturels du sommet de cette tige passer rapidement sur ceux de la greffe, lesquels seraient naturellement plus faibles et moins nombreux.

Tous les botanistes ont pu faire cette remarque sur les greffes de dicotylédones (XVI, 22, 23 *b*; XVII, 16 *b*, *b'*). Aubert du Petit-Thouars, à qui l'on ne saurait refuser le génie des expériences, nous a appris qu'une greffe de monocotylédone (de *dracæna* sur *dracæna*) lui a donné des résultats identiquement semblables à ceux qu'on obtient tous les jours des greffes de dicotylédones.

Puisque la greffe d'un végétal monocotylédoné agit exactement comme celle d'un dicotylédoné, il était tout naturel d'admettre que les bourgeons naturels de ces premiers végétaux produiraient, par leur développement, des phénomènes semblables à ceux qui sont fournis par le développement des seconds.

L'accroissement par couches concentriques de quelques tiges monocotylédones tronquées nous en fournit la preuve (V, 7 *b*).

Non-seulement ces tiges, qui s'accroissent par l'addition des tissus radiculaires de tous les bourgeons latéraux, montrent des zones concentriques et quelquefois excentriques (V, 7 *b*), mais elles offrent encore des sortes de rayons médullaires analogues à ceux des dicotylédones (V, 7 *b*), ce qui, pour nous, est une nouvelle preuve de la descension des tissus radiculaires des bourgeons; car, si les nouvelles couches ne se produisaient que par l'effet et sous l'influence des couches anciennes, rien de tout cela n'aurait lieu, puisque, selon nous, ces prétendus rayons médullaires résultent de l'arrangement symétrique des tissus radiculaires originairement produits par les bourgeons.

Un fait qui, sous ce rapport, sera peut-être encore une preuve de l'analogie d'organisation qui existe entre les monocotylédones

et les dicotylédones, c'est que le *dracæna draco* de l'Orotava, à l'île Ténériffe, a sa tige et ses principaux rameaux entièrement creux, ce qui ne l'empêche pas de donner, chaque année, de nombreux bourgeons, de nouveaux rameaux, des fleurs et des fruits, et d'accroître incessamment le diamètre de son énorme tronc par l'addition des vaisseaux radiculaires de toutes ces parties.

Quels sont donc les traits qui distinguent nettement les monocotylédones des dicotylédones? C'est ce que je tenterai de dire dans un prochain mémoire.

Si ces faits ont bien l'exactitude que je leur suppose, il en sera de même de la théorie qu'on en déduit si facilement. Cette théorie, qu'on pourrait nommer théorie des mérithalles, analogue sous certains rapports à celle d'Aubert du Petit-Thouars, en diffère toutefois beaucoup. Elle se placera naturellement entre celles de Desfontaines et de M. Mohl, en les confirmant et en les infirmant en partie toutes les deux.

Nos discussions à ce sujet, ainsi que tous les détails qui doivent servir à les éclairer, appartiennent plus spécialement à l'ouvrage général dans lequel je tâcherai de résoudre le plus complétement possible toutes les questions importantes que je viens de soulever.

La troisième section de la première partie n'était pas terminée au moment où ce travail fut soumis au jugement de l'Académie : elle ne pourra donc être imprimée ici; mais elle le sera prochainement dans un mémoire spécial.

EXPLICATION DES PLANCHES[1].

PLANCHE I.

Figures idéales d'embryons monocotylédonés et dicotylédonés en germination.

1. Embryon monocotylédoné.

SYSTÈME SUPÉRIEUR OU ASCENDANT.

a. Tigelle (mérithalle inférieur ou tigellaire).
b. Pétiole (mérithalle moyen ou pétiolaire).
c. Limbe (mérithalle supérieur ou limbaire).
d. Bourgeon. Feuille primordiale.
f. Mésocauléorhize.
g. Mésophyte.
h. Mésophylle.

SYSTÈME INFÉRIEUR OU DESCENDANT.

e. Radicule.

2. Embryon monocotylédoné. — Développement des tiges en hauteur[2].

SYSTÈME SUPÉRIEUR ASCENDANT.

a, *a'*, *a''*. Tigelles.
b, *b'*, *b''*. Pétioles.
c, *c'*, *c''*. Limbes.
d. Bourgeon.

[1] Ces figures, faites pour la plupart sur des objets naturels et généralement nouveaux, sont pourtant destinées à faire connaître plutôt le mécanisme du développement des tiges et des autres parties des végétaux, qu'à représenter exactement des phénomènes d'organographie, de physiologie et d'organogénie. On verra toutefois qu'elles s'écartent peu de la vérité. Quelques-unes seulement sont tout à fait idéales.

Les dessins de tout l'Atlas ont été faits, sur les croquis de l'auteur, par M. Borromée, jeune peintre d'histoire naturelle d'un talent éprouvé, qui en a aussi complétement dirigé la gravure, l'impression et le coloriage.

[2] Cette figure représente quatre embryons superposés, dont le quatrième *d* commence son évolution.

SYSTÈME INFÉRIEUR OU DESCENDANT.

e. Radicule.
i. Racine adventive de la feuille *a'*.
k. Racine adventive de la feuille *a''*.
f. Mésocauléorhize.

3. Figure idéale d'un embryon monocotylédoné en germination, divisé en deux systèmes de développement.
A. Système supérieur ou ascendant.
B. Système inférieur ou descendant.

Le système supérieur ou ascendant subdivisé en trois parties ou mérithalles :

1^er^. Mérithalle inférieur, caulinaire, tigellaire ou radiculaire *a* (de *f* à *g*).

2^e^. Mérithalle moyen, pétiolaire, carpellaire, androphorien *b* (de *g* à *h*).

3^e^. Mérithalle supérieur, limbaire, stylifère, anthérifère *c* (de *h* à *i*).

Au sommet *i* il se développe quelquefois un quatrième mérithalle, plus ou moins foliacé, dont je parlerai en traitant des développements anomaux.

Le système inférieur ou descendant *e* n'existe pas généralement dans les embryons : il se forme dans l'acte de la germination.

Le mésophyte *g* sépare la tigelle *a* du pétiole *b*; le mésophylle *h*, le pétiole *b* du limbe *c*; le mésocauléorhize *f*, la tigelle *a* de la radicule vraie *e*; *d* est le bourgeon axifère.

4. Vaisseaux mérithalliens. — Mode de division des faisceaux. Les vaisseaux fibreux de l'écorce se divisent de la même manière. Il ne faut pas confondre ces derniers vaisseaux, qui appartiennent au système ascendant, avec le liber, qui appartient au système descendant.

5. Embryon dicotylédoné.

SYSTÈME SUPÉRIEUR OU ASCENDANT.

a a. Tigelles.
b b. Pétioles.

c c. Limbes.
d. Bourgeon.

SYSTÈME INFÉRIEUR OU DESCENDANT.

e. Radicule.

Ici le bourgeon est formé de plusieurs feuilles écailleuses; les deux premières ou inférieures sont alternes avec les cotylédons.

6. Embryon dicotylédoné. — Développement des tiges en hauteur.

SYSTÈME SUPÉRIEUR OU ASCENDANT.

a a, *a'*, *a''*, *a''*. Tigelles.
b b, *b'*, *b''*, *b''*. Pétioles.
c c, *c'*, *c''*, *c''*. Limbes.
d. Bourgeon composé de feuilles rudimentaires.

SYSTÈME INFÉRIEUR OU DESCENDANT.

e. Radicule.

7. Germination d'un palmier (*coco de Coresma* des Brésiliens). Germination; grandeur naturelle.
a. Noix. Épiderme lisse; brou filamenteux (fibro-tubuleux), fibres inégales, rameuses de haut en bas *d*.
b. Pétiole cotylédonaire coudé.
c. Nœud vital (mésocauléorhize).
d. Vaisseaux tubuleux du brou.
e. Radicule.

8. La même; pétiole, bourgeon et radicule coupés verticalement.
a, *b*, *c*, *e*. Comme dans la figure précédente.
f. Plumule ou bourgeon.
g. Canal pétiolaire rempli de tissu cellulaire peu consistant.

9. La même figure grossie.
b, *c*, *e*, *f*. Comme dans la figure précédente.
h. Tissu cellulaire rayonnant.
i. Vaisseaux fibreux de la radicule.
k. Feuille primordiale; *l*, feuille secondaire; *m*, feuille tertiaire.

10. Noix très-dure, couleur chocolat; sortes de coulées ligneuses

se développant de haut en bas, et formant des espèces de larmes à la base *a*.

b. Base.

c. Style.

d, *d'*. Vaisseaux du brou enveloppés par la matière ligneuse de la noix; matière granuleuse qui se développe de haut en bas et forme les sortes de larmes *a*.

11. La même, coupée transversalement.

a. Amande (périsperme) dans son tégument.

b. Base renfermant l'embryon.

c. Sommet (style).

d, *d'*. Vaisseaux tubuleux, inégaux, rameux, analogues à ceux du brou.

12. Coupe verticale de l'amande (périsperme) dans la direction de l'embryon.

a. Base.

b. Embryon.

c. Amande huileuse ou périsperme.

d. Cavité; l'embryon communique quelquefois avec cette cavité.

13. Embryon grossi.

a. Base.

b. Radicule.

c. Nœud vital.

d. Tigelle.

e. Cotylédon.

f. Nervures visibles.

14. *Gnetum (Thoa)* [1].

La fécondation du *gnetum*, analogue sous certains rapports à celle des cycas, en diffère toutefois par plusieurs caractères.

Dans mes premiers essais sur les ovules des cycas, j'avais cru remarquer, qu'en outre des sacs embryofères ordinairement simples, il s'en trouvait quelques-uns de rameux. Mes expériences, renouvelées sou-

[1] Cette figure, les nos 10, 11 de la planche XV, 12 et 21 de la planche XVIII, ont, ainsi que quelques notes, été ajoutés à ce travail, qui date déjà de 1834; j'ai aussi complété, le plus brièvement que j'ai pu, les explications des planches.

vent, me l'avaient constamment montré. En cela j'étais d'accord avec l'un des plus savants observateurs de notre époque, le célèbre R. Brown. Pendant mon dernier voyage, et depuis à Paris, j'ai reconnu que je m'étais trompé; que j'avais pris pour des cordons ombilicaux, rameux, la réunion par soudures de deux ou de plusieurs cellules ovulaires allongées, et que jamais les cordons suspenseurs ne se bifurquent.

La figure 38 (VI, 38 *e*) serait donc fautive sous ce rapport.

Il n'en est pas de même dans les *gnetum* (I, 14), où les cordons suspenseurs sont positivement divisés pour la plupart (*b'*, *b''*, *b'''*).

a. Tissu cellulaire très-allongé.
b. Cordon suspenseur simple (cellule embryofère allongée).
b'. Cordon suspenseur à trois divisions.
b''. Cordon suspenseur à deux divisions.
b'''. Cordon suspenseur à deux divisions. Vers la base du grand lobe, on remarque un renflement qui indique la présence d'un troisième lobe naissant.

Ces cordons suspenseurs (qui sont doubles dans le cycas, c'est-à-dire formés de deux sacs emboîtés l'un dans l'autre, VI, 37-39[1]), au sommet desquels se forment les embryons (I, 14; VI, 26, 32, 33, 34 *g*; 34 *c*, *g*, 35 à 38, 40 à 53), sont-ils, comme je l'ai toujours pensé, jusqu'au moment où ont paru les travaux de M. Schléden sur ce point, des cellules allongées, ou des sortes de mérithalles imparfaits, alimentés par des trajets vasculiformes (VI, 26 *m*)? ou bien sont-ils les tubes polliniques embryofères de ce dernier observateur? C'est ce dont je n'ai pu m'assurer. J'avoue toutefois que je suis encore porté à croire que dans le *gnetum* ce sont des cellules allongées.

Dans les cycas, cela est différent : ces cordons sont constamment terminés, au point d'attache, par une masse cellulaire rougeâtre, isolée, analogue à un petit amas de pollen; ce fait, et bien d'autres encore militent fortement en faveur de la théorie de M. Schléden.

Dans les cycas et dans les *gnetum*, ces tubes renferment un fluide cellulifère légèrement ambré, rempli, vers le sommet surtout, de globules opaques, dont il serait facile d'observer le mouvement, si l'on opérait sur le frais. J'ai vu ce mouvement dans plusieurs cas analogues.

J'aborderai plus directement ces questions dans un mémoire que je

[1] Dans la troisième partie de ce travail, je décrirai l'organisation complexe de ces sacs.

ferai prochainement connaître, en traitant des cycadées et des gnetacées, ainsi que dans la dernière partie de ce travail, qui aura trait à l'organogénie générale des végétaux.

PLANCHE II.

Figure idéale. Développements divers des végétaux dicotylédonés.

A, A. Mérithalles tigellaires des cotylédons.
B, B. Mérithalles pétiolaires des cotylédons.
C, C. Mérithalles limbaires des cotylédons. *c* 27 n'est qu'un pétiole élargi.
D. Radicule ou racine cotylédonaire.
E. Mérithalles des feuilles primordiales.
F. Mérithalles des feuilles secondaires.
1. Feuille cotylédonaire à deux mérithalles.
2. Feuille cotylédonaire à un seul mérithalle épanoui en limbe au sommet.
3. Sommet du mérithalle tigellaire des feuilles primordiales.
4. Base du troisième mérithalle.
5. Bourgeon axillaire.
6. Bourgeon axillaire plus développé.
7. Radicule.
8, 8′, 8″. Écorce. Elle est composée des vaisseaux ou fibres corticales du système ascendant, des vaisseaux du latex, du liber, etc.
9, 9′, 9″. Épiderme.
10, 10′, 10″. Tissu cellulaire.
11, 11′, 11″. Système vasculaire de l'écorce.
12. Racines et radicelles des feuilles primordiales.
12′. Racines et radicelles des feuilles primordiales. Disposition générale. Ramifications.
12″. Racines et radicelles des feuilles primordiales. Leur mode d'accroissement par les vaisseaux radiculaires des feuilles supérieures et des bourgeons axillaires.
13. Racine de la feuille primordiale sortant de la partie supérieure du mérithalle tigellaire inférieur. Ce qui arrive souvent.

14. Racine du bourgeon *5*, sortant immédiatement de la tige. Elle doit passer, ainsi que celle du n° *27*, dans les mailles inférieures du pétiole. C'est pour éviter la confusion qu'on la fait passer au-dessus, dans les mailles du mérithalle pétiolaire.

Les vaisseaux radiculaires de ces deux bourgeons doivent passer dans les mailles situées au-dessous. Je les ai disposées ainsi pour éviter la confusion.

15. Tissus radiculaires (ligneux) du bourgeon 5. Ils descendent dans la voie du cambium. Ces tissus radiculaires devraient aussi passer dans les mailles inférieures, vertes, du mérithalle tigellaire comme les fibres *27*, *27'*.
16. Tissus radiculaires (ligneux) du bourgeon n° *6*. Même observation.
17. Tissus radiculaires de la feuille primordiale, détachés du système ascendant vert, par une ligne rouge de tissu cellulaire. Ils se divisent à la base, entre les racines *12*, *12'*, *12''* et la radicule, dont ils accroissent aussi le diamètre.
18. Mérithalle de la feuille primordiale non encore couvert de tissus radiculaires.
19. Base du mérithalle de la troisième feuille, dans le même état.
20. Vaisseaux du système ascendant des feuilles cotylédonaires. Nous donnerons, dans la troisième partie de ce travail, l'analyse de ces vaisseaux et la nature des tissus qui les composent. Nos exemples ont été choisis parmi les monocotylédones et les dicotylédones les plus remarquables. On peut prendre une idée superficielle de la composition de ces faisceaux vasculaires dans les figures 5, 7, 8, pl. XIV.
21, 23. Vaisseaux descendants des feuilles primordiales et autres, à la surface des vaisseaux ascendants du mérithalle tigellaire du cotylédon 1. Dans la plupart des dicotylédones les tissus radiculaires ou descendants rampent sur les vaisseaux du système ascendant, ainsi que nous le figurons ici; mais, dans beaucoup de cas, dans les poivres par exemple, ils en restent éloignés et souvent très-distants.
22. Vaisseaux du système ascendant des feuilles primordiales.
24, 24'. Vaisseaux descendants des feuilles primordiales et autres

formant de nouvelles lignes extérieures alternes avec ceux qui recouvrent les vaisseaux ascendants mérithalliens des cotylédons. *24'* est tronqué à dessein.

25. Vaisseaux descendants des feuilles primordiales et autres, tronqués; pour montrer leur disposition sur les vaisseaux mérithalliens ou du système ascendant.

25', 25''. Vaisseaux radiculaires des feuilles primordiales et autres qui, après avoir couvert dans toute leur longueur les vaisseaux du mérithalle tigellaire ou inférieur de l'embryon *25'*, recouvrent aussi les vaisseaux sous-mérithalliens de la racine cotylédonaire (radicule) dont ordinairement ils accroissent le diamètre *25''*.

26, 26'. Rayonnements médullaires qui ont donné naissance aux bourgeons *5*, *6*.

27, 27'. Mésophylles variables selon les classes végétales. A la rigueur *27* ne serait pas un mésophylle et le cotylédon *2* ne serait en réalité formé que du seul mérithalle pétiolaire élargi en limbe au sommet.

28. Ligne qui indique le prolongement de l'écorce du second mérithalle jusqu'à l'écorce du premier.

27, 27' (c'est 29 et 29' qu'il devrait y avoir). Radicelles qui se forment dans beaucoup de cas aux dépens des vaisseaux radiculaires des feuilles supérieures. Elles indiquent exactement les points où vont sortir les vaisseaux radiculaires des figures *14*, *15* et *16*, que, pour éviter la confusion, j'ai fait passer dans les mailles du mérithalle pétiolaire des cotylédons. Ce sont des vaisseaux de cette nature qui servent à former les nœuds, les cloisons, etc.

PLANCHE III.

1. Germination d'un palmier du Brésil (*coco verde*), grossie d'un cinquième au plus (grandeur naturelle?).

a. Pétiole du cotylédon; mérithalle moyen ou pétiolaire.

r. Radicule.

k. Brou.

q. Base du fruit.
x. Sommet du fruit.

2. La même germination plus avancée; brou et noix coupés.
a. Pétiole cotylédonaire tordu en divers sens.
e. Limbe cotylédonaire celluleux, tuméfié, chargé extérieurement de nervures épidermoïdes.
k. Brou.
q. Base du fruit.
r. Radicule.

3. La même; coupe verticale de la plumule.
a. Pétiole cotylédonaire.
p. Plumule.
r. Radicule.
s. Nœud vital; tigelle de l'embryon.
z. Vaisseaux du mérithalle pétiolaire; trachées. On voit aussi des nervures, ou vaisseaux épidermoïdes, à la circonférence.

4. Germination entière. Brou, noix, périsperme et limbe cotylédonaire coupés verticalement.
a. Pétiole du cotylédon; nervures épidermiques.
b, *c*, *d*. Feuilles primordiales du bourgeon.
e. Limbe tuméfié de la feuille cotylédonaire, dans lequel on distingue des vaisseaux de plusieurs natures.
f. Racine de la feuille cotylédonaire *a*.
g. Racine de la feuille primordiale *b*.
h. Racine de la feuille secondaire *c*.
i. Racine de la feuille tertiaire *d*.
k. Brou filamenteux, charnu, vert et lisse extérieurement.
l. Noix rongée extérieurement (*areca*).
m. Reste de l'amande (périsperme); cellules alongées de dehors en dedans.
q. Base du fruit par où est sortie la radicule.
x. Sommet du fruit, ou base des styles.
y. Indique le point où se trouve la tigelle, ou mérithalle tigellaire.

5. Coupe horizontale de la racine *f* grossie.

t. Épiderme blanc, épais.
u. Tissu cellulaire blanc, épais.
v. Centre fibreux; vaisseaux radiculaires.

6. Base de cette même racine.
7. Fragment de fruit grossi du double. Coupe verticale.
k. Brou.
l. Coque, ou noix.
m. Périsperme charnu (amande du coco) blanc.
n. Partie intérieure du périsperme à l'état mou, gélatineux, transparent, blanc opalin.
o. Embryon dans une cavité du périsperme.
q. Base du fruit.
x. Air (gaz), ou vide.
y. Eau.

8. Embryon grossi.
c. Cotylédon (mérithalle pétiolaire).
r. Radicule.
t. Tigelle (mérithalle tigellaire).

OBSERVATIONS.

Au moment de la germination, le périsperme *m* a acquis tout son développement, et une grande dureté, surtout à la circonférence. La surface interne *n* est encore molle, ou même gélatineuse. En général, quelles que soient la quantité d'eau *y* et la position où l'on maintient le fruit, l'accroissement du périsperme est uniforme dans toutes les parties. Donc cette eau est absorbée avant sa solidification; donc le périsperme s'organise de la circonférence au centre, et sur tous les points.

J'ai déjà indiqué[1] les singuliers phénomènes offerts par la germination des palmiers. Je les décrirai avec soin à l'article Palmier.

9. Germination jeune du coco (*cocos nucifera*) de grandeur naturelle.
a. Limbe (mérithalle limbaire) ou supérieur.
b, *c*. Pétiole. Mérithalle pétiolaire ou moyen, très-court, étranglé supérieurement en *b*.

[1] Archives de botanique, novembre 1833, p. 4.

d. Point correspondant à la tigelle.

e. Plumule (bourgeon) encore renfermée dans la base vaginale déviée du mérithalle pétiolaire.

f. Radicule [1]. Elle se porte vers l'humidité du brou, tandis que la plumule se dirige vers l'extérieur.

i. Coque ou noix du coco.

k. Périsperme ou amande du coco.

10. La même figure, coupe verticale.

a. Limbe.

b, *c*. Pétiole.

d. Tigelle.

f. Radicule.

g. Vaisseaux radiculaires de la feuille cotylédonaire.

h. Vaisseaux radiculaires naissants de la plumule. Ils se convertissent bientôt après en racines.

Dans cette germination, les vaisseaux de la partie *a*, figure 9, sont de deux sortes, les uns externes, les autres internes. Les premiers, ceux de la circonférence, qu'on peut nommer à cause de cela épidermiques, occupent ordinairement le sommet du limbe *a*, et sont visibles, même à l'œil nu; ils disparaissent vers le tiers inférieur de cette partie enflée. Les autres sont disséminés dans l'intérieur de ce limbe, 10, *a*.

PLANCHE IV.

1. Germination de *commelina*.

a. Pétiole du cotylédon.

b. Limbe globuleux, blanc, retiré de la graine.

c. Gaîne développée du cotylédon.

d, *e*. Feuilles primordiales

f. Nervure moyenne du pétiole cotylédonaire.

g. Radicule.

h. Radicelles (chevelu).

2. Graine de *crinum* (du Brésil), point de radicule à l'embryon.

a. Graine charnue, blanche (tégument fortement épaissi).

b. Pétiole allongé de l'embryon en germination.

[1] C'est par erreur qu'on a mis sur la planche un *b* pour un *f*.

c. Sillon qui indique le point de réunion des bords de la feuille cotylédonaire roulée.
d. Radicelles ou racines.
e. Pas de radicule.
f. Point où se trouve la tigelle.

2′. La même graine, coupée dans l'axe de l'embryon.
a, *b*, *d*. Comme dans la figure précédente.
f. Plateau très-mince (mérithalle tigellaire très-court).
g. Plumule.
h. Ouverture du cotylédon par où sort la plumule; c'est le sommet du pétiole.
i. Sommet du limbe.
e. Pas de radicule sensible, surface plane.

3. Autre espèce de *crinum*? en germination. Deux états.
a. Radicule singulièrement enflée.
b. Sortes de radicelles.
c. Graine flétrie.

3′. *a*, *b*, *c*. Comme dans la figure précédente.
d. Fente par où sort la plumule.

3″. La même, plus avancée et coupée dans l'axe de la graine.
a, *b*, *c*, *d*. Comme dans les figures précédentes.
e. Plumule.
f. Sommet du limbe cotylédonaire.
g. Sillon intérieur par où passe la plumule.

On trouve quelquefois jusqu'à trois embryons dans ces deux sortes de graines et dans la suivante.

4. Autre espèce de *crinum*?
a. Graine flétrie en germination.
b. Radicule filiforme.

4′. La même, coupée dans l'axe de l'embryon.
a, *b*. Comme dans la figure précédente.
c. Plumule.
d. Sommet du cotylédon.

5. Graine en germination du dattier (*phœnix dactylifera*).

a. Graine (le limbe y est enfermé).
c. Pétiole cotylédonaire.
d. Radicule ou racine cotylédonaire.
g. Racine des feuilles primordiales.
g'. Radicelles de la radicule.
h, *i*, *k*. Feuilles primordiales.

5'. Coupe verticale de la graine et de l'embryon; germination moins avancée.
a. Graine.
b. Limbe cotylédonaire.
c. Pétiole cotylédonaire.
d. Radicule.
e. Vaisseaux de la radicule.
f. Plumule.
gg'. Racines des feuilles primordiales.
h. Cavité de la feuille cotylédonaire.

6. Germination de graminée (*briza media*) dépouillée de ses enveloppes florales.
b. Radicule tronquée.
c. Radicelles ou racines de la feuille primordiale.
d. Cotylédon.
e. Ligule un peu forcée.
f. Mérithalle primordial.
g. Première feuille du bourgeon primordial.
h. Deuxième.
i. Première racine du bourgeon primordial.

7. La même : l'embryon vu du côté opposé.
b, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*. Comme dans la figure précédente.
k. Seconde racine du bourgeon primordial.

8. La même, entière, grossie.
a. Graine munie de ses glumes et balles.
b. Radicule tronquée.
c. Radicelles ou vraies racines.
f. Mérithalle primordial.

g. Feuille primordiale dans laquelle se développe le bourgeon et d'où partent les racines adventives *i*, *i'* des feuilles *h*, *k*, *l*, *m*.

h. Seconde.

k. Troisième.

l. Quatrième.

m. Cinquième.

i, *i'*. Racines du bourgeon primordial.

9. Germination avancée, grossie.

f. Reste du mérithalle primordial.

i, *i'*, *i''*. Racines du bourgeon primordial.

g. Première feuille du bourgeon primordial.

h, *k*, *l*, *m*. Les autres feuilles de ce bourgeon.

Germination du *ceratopteris cornuta*.

10. Sporule grossie, verdâtre, globuleuse, formée de cellules translucides.

11. Sorte de plateau bilobé résultant du développement d'une sporule. Surface inférieure pour montrer la formation des fibrilles radiculaires.

a. Masse verdâtre, celluleuse.

b. Fibres radiculaires. Elles résultent de l'allongement en boyau d'une cellule. Dans l'intérieur, on distingue des globules verts, en mouvement, nageant dans un fluide ambré, transparent.

12. La même germination, plus avancée, déformée par l'allongement de l'un des lobes. Surface supérieure.

a et *b*. Comme dans la figure précédente.

c. Bord épaissi et relevé, plus vert.

13. Bourgeon de fougère sur un plateau très-développé. Surface supérieure.

a. Masse cellulaire (plateau).

b. Fibres radiculaires des cellules.

c. Première feuille déroulée.

d. Seconde feuille encore roulée.

e. Racine de la première feuille.

f. Racine de la seconde feuille encore roulée.
g. Racine de la troisième feuille encore renfermée dans la seconde.
h, *h'*. Écailles nombreuses, transparentes, concaves, celluleuses, enveloppant le bourgeon. Ces écailles appartiennent à la première feuille; par le développement de cette feuille, elles s'éloignent les unes des autres et deviennent éparses sur la fronde. Elles sont généralement très-fugaces, caduques. Chaque feuille a son bourgeon d'écailles. Je ne les ai pas figurées pour éviter la confusion.

14. La même figure, plus développée, grossie.
a. Reste du plateau en décomposition.
c. Première feuille déroulée.
d. Seconde feuille déroulée.
e. Troisième feuille déroulée.
f. Quatrième feuille encore roulée en crosse.
g. Racine de la première feuille.
h. Racine de la seconde feuille.
i. Racine de la troisième feuille.
k. Racine de la quatrième qui est encore roulée.

15. La même, plus grossie encore pour montrer la formation d'un bourgeon sur la feuille *d*.
a. Reste du plateau cellulaire en décomposition.
c. Première feuille déroulée.
d. Base de la seconde feuille déroulée.
g. Racine de la première feuille.
h. Racine de la seconde feuille.
l. Bourgeon naissant adventif.

Ce bourgeon, ou plutôt cette feuille comme toutes les autres, était enveloppé d'écailles transparentes, que j'ai retranchées dans ce dessin pour éviter la confusion.

16. Cellule allongée en racine. Elle est remplie d'un liquide transparent, dans lequel on remarque des globules rares en mouvement. Il y a en *m* une sorte d'articulation très-marquée, fig. 17, *m*.

J'ai quelque raison de croire que l'un des globules de la cellule se

tuméfie pour former un second tube intérieur au premier, et que c'est dans cet appareil double que s'opère la circulation des globules.

Ces figures appartiennent à la troisième partie de mon travail, qui traite de l'organographie des cryptogames; j'ai dû les placer ici pour montrer l'analogie qui existe entre le développement des fougères et celui des monocotylédones. Dans la troisième partie, dont je m'occupe activement, je ferai connaître la composition de leurs tissus.

PLANCHE V.

1. Germination de l'*avena sativa*, grandeur naturelle.
   a. Graine et ses enveloppes florales.
   b. Radicule tronquée, sinueuse.
   c. Racines.
   d. Tigelle ou mérithalle inférieur de la feuille primordiale.
   e. Feuille primordiale. Cotylédon des auteurs.

La troisième feuille n'est pas encore visible.

2. La même, grossie.
   a. Radicule tronquée, subbilobée.
   b. Racines.
   c. Cotylédon dégagé de ses enveloppes florales et de son périsperme.
   d. Ligule.
   e. Tigelle ou premier mérithalle (inférieur) de la feuille primordiale.
   f. Coupe grossie de ce mérithalle. Un faisceau vasculaire.

3. La même, moins grossie que la seconde, entière.

Les lettres *a* à *e* indiquent les points où ont été faites les coupes représentées à la figure 4 (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*).

   f. La radicule tronquée.
   g. Les racines.
   h. La graine couverte de toutes ses enveloppes.
   i. La troisième feuille.
   k. La quatrième feuille.

4. Les figures *a* à *e* représentent des coupes faites par les mêmes lettres sur la figure 3.

a montre un gros faisceau vasculaire 1 entre le cercle intérieur et l'épiderme.

Tout le tissu cellulaire de cette partie, dans cette figure, comme dans les autres, est très-large au centre, et de plus en plus petit vers l'épiderme et vers le cercle intérieur.

Le cercle du centre 2 renferme six faisceaux vasculaires dans de la moelle.

b. Les six faisceaux *2* de la figure *a* se sont divisés de manière à en former douze plus petits *2*. Le gros faisceau supérieur *1* s'est rapproché du cercle intérieur; et, dans la partie inférieure de ce même cercle on en voit apparaître un second *3;* deux groupes de stries vasculaires se montrent aussi sur les côtés *4-4'*, ce sont les racines naissantes des feuilles du bourgeon *i*, *k*, de la figure 3.

c. Les deux gros faisceaux vasculaires *1-3* se sont éloignés du cercle intérieur. Une sorte de traînée vasculaire va de l'un à l'autre vers le centre *2*, qui est parsemé de vaisseaux irréguliers, disséminés dans du tissu cellulaire naissant.

d. Les deux gros faisceaux vasculaires *1-3* sont libres et situés entre le cercle intérieur et l'épiderme. Les autres sont disposés par séries près du bord intérieur de ce cercle, excepté quatre ou cinq plus gros et plus rapprochés du centre *2*.

e. Le cercle extérieur est libre et montre les deux gros faisceaux vasculaires *1-3*. Il renferme deux feuilles roulées bord sur bord *5-6*, une beaucoup plus petite *6* au centre. Toutes les deux à sept ou neuf faisceaux vasculaires principaux.

En traitant de l'organisation des graminées, je donnerai l'explication de ces figures singulières, mais qui ne s'éloignent nullement du type organique des monocotylédones.

5. Tige tronquée de *dracæna* au sommet de laquelle on a laissé se développer un jeune rameau.

a. Trachées du système ascendant de la tige.

b. Bourgeons rudimentaires situés au centre des cicatricules des feuilles anciennes.

c. Rameau.

d. Tige.

Aubert du Petit-Thouars, avant moi, avait obtenu le même résultat.

6 Autre rameau développé au sommet d'une tige tronquée de *dracæna*. On voit en *a a'* les trachées du système ascendant du tronc et du rameau; en *b c* les vaisseaux radiculaires de plusieurs années mis à nu par la macération; en *c'* ceux du tronc.

7. Coupe transversale de la même tige, faite au point *c* de la figure 6 avant la macération.
   a. Trachées du système ascendant intérieur, excentrique.
   b. Couches annuelles et rayons médullaires analogues à ceux des dicotylédones.
   c. Cicatrices des feuilles anciennes.

8. La tige tronquée au sommet du *dracæna*, fig. 5, après la macération.
   a. Trachées du système ascendant de l'ancienne tige.
   a'. Trachées du système ascendant du rameau nouvellement formé.
   b, *b'*. Tissus ligneux radiculaires de l'ancienne tige.
   c. Tissus ligneux radiculaires du rameau.
   d, *d'*. Les mêmes, disposés en griffe à la surface des tissus analogues de la vieille tige. Les nouveaux sont sinueux, et sur certains points croisent à angle droit les anciens, qui sont droits.

9. La griffe formée par les vaisseaux radiculaires du bourgeon, vue de face.
   a. Système ascendant ou tigellaire central.
   d. Système descendant ou radiculaire.

10. Nymphæa, exemple d'un bourgeon épiphylle. Il est situé ici au sommet du mérithalle pétiolaire *a*; ce fait est commun dans les espèces d'Afrique : il est dû à la piqûre d'un insecte coléoptère.

11. Germination du *trapa natans*.
   a. Noix.
   b. Mérithalle pétiolaire du cotylédon charnu qui reste renfermé dans la noix.
   c. Base pétiolaire très-réduite du cotylédon avorté.

d, *e*. Deux bourgeons, l'un axifère, l'autre axillaire.

f, *r*. Radicule.

12. La même, grossie.

b. Mérithalle pétiolaire du cotylédon charnu (amande), situé dans l'intérieur de la graine.

c. Cotylédon avorté.

d. Bourgeon axifère.

e. Bourgeon axillaire de la feuille réduite.

f. Radicule.

13. Germination des *allium cepa* et *porrum*.

A. Embryon plié en deux. La tigelle *b* et le pétiole *c* s'allongent également; le limbe *d* reste renfermé dans la graine *a*.

a. Graine.

b. Tigelle (*m*. tigellaire ou inférieur).

c. Pétiole (*m*. pétiolaire ou moyen).

e. Radicule tronquée.

f. Racine de la feuille primordiale qui ne paraît pas encore.

m. Base du mérithalle pétiolaire dans cette figure, comme dans toutes les autres.

B. La même figure, plus avancée.

La croissance continue dans le mérithalle tigellaire *b*, et dans la base du mérithalle pétiolaire *m*; elle s'arrête dans le sommet de ce dernier *c*, qui sort de terre entraînant avec lui sa graine *a*.

La racine de la feuille primordiale *f* s'est allongée, et celle d'une troisième feuille *g* commence à paraître.

C. La même figure. Le sommet du mérithalle pétiolaire *c*, qui jusque-là était resté courbé, commence à se redresser. On voit en *k* une valvule d'où sort la feuille primordiale *l*; la racine d'une quatrième feuille s'est aussi formée *h*.

D. La même figure. Le sommet du pétiole est tout à fait redressé, il reste un peu coudé *n*. La feuille primordiale *l* est sortie de la gaîne *k*.

E. La même, pour montrer l'obliquité de la racine *e*, la racine de la feuille primordiale *f* et celle de la troisième feuille *g*.

F. La même figure plus développée.

La graine *a* est tombée et laisse à nu le limbe filiforme *i* fané. La partie supérieure du pétiole *c* commence aussi à se dessécher.

G. La même figure, pour montrer une troisième feuille *o;* le sommet du pétiole *c* est tout à fait desséché; sa base *m* commence à éprover la même altération.

14. Rameau tronqué de peuplier, sur lequel on a laissé croître un bourgeon qui, plus tard, a été disséqué par la macération.
a. Bourgeon développé (Base d'un) tronqué.
b. Vaisseaux radiculaires du bourgeon formant une sorte de griffe sur les tissus anciens.
c, *c'*. Tissus anciens, droits.
d. Canal médullaire du tronc.
e. Canal médullaire du rameau.

PLANCHE VI.

Théorie des mérithalles moyens et supérieurs dans la composition de toutes les parties des fleurs et des fruits. Exemples de calices, corolles, étamines, pistils, ovaires, capsules, ovules et embryons operculés par la partie limbaire des feuilles (phytons) qui les constituent. Le *couratari*, le *zanonia* et le *pavot*, etc. paraissent faire exception à cette règle. Mais ces exceptions ne sont qu'apparentes.

1. Étamine operculée d'un *brosimum*. L'opercule est porté par un axe analogue à celui des fruits des *couratari* ou *zanonia*, *lecythis*.
2. Fruit du *lecythis*, opercule libre à l'époque de la déhiscence.
3. *Couratari* ou *zanonia*. Fruit operculé. Opercule porté par un axe anguleux, central.
4. Axe central et opercule du n° 3.
5, 6, 7. Vaisseaux de quelques crucifères (*brassica*) pour la théorie des nervures intérieures ou supérieures et des nervures extérieures ou inférieures. Sortes d'anévrismes ou réservoirs.
8, 9, 10, 11; 12. Embryons de mûriers de la tribu des antiaridées.

8. *Beauvoisia*, arbre d'Afrique. Coupe verticale d'un embryon.
a. Grand cotylédon. *b.* Petit cotylédon.
r. Radicule.

9. *Albrandia*, arbrisseau de Madagascar. Coupe verticale d'un embryon.
   a. Grand cotylédon.
   b. Petit cotylédon.
   r. Radicule.

10. *Antiaris*. Embryon entier.
   a. Grand cotylédon, presque plat, avec une légère concavité au centre, bords très-épais
   b. Petit cotylédon.
   r. Radicule.

11. *Conocephalus?* Embryon entier.
   a. Grand contylédon légèrement concave.
   b. Petit cotylédon plan.
   r. Radicule.

La germination des 8, 9, 10 et 11, doit avoir quelques rapports avec celle du *trappa*. (V. 11, 12.)

12. *Conocephalus?* entier (*Dann siser*). Le cotylédon *a* enveloppe l'autre *b* en rapprochant ses bords. La radicule, qui est très-longue et redressée, s'applique sur les bords du grand cotylédon *r*.

13. Théorie des vrilles par les mérithalles inférieurs, moyens et supérieurs, plus ou moins complétement avortés, et surtout par l'absence des bourgeons.
S'il se forme un bourgeon *b*, la vrille devient un rameau.
   a, *a'*. Écailles.

14. Embryon du *rhizophora mangle* détaché du fruit.
   a. Tigelle fusiforme. Radicule des auteurs.
   b. Mérithalles pétiolaires ou moyens des cotylédons soudés.
   c. Limbes soudés. De la soudure des pétioles et des limbes résulte une sorte d'opercule allongé, irrégulier, coudé, qui se détache de la tigelle en *d*[1].

15. *Anagallis*. Capsule operculée; nervures alternes.

16. *Datura stramonium*. Calice articulé; bord inférieur *a*.

[1] Voyez aussi pl. VII, fig. 26 et 26', 27, 28, 29.

17. *Eucaliptus*. Calice operculé; opercule adhérent.
18. Le même. Opercule séparé.
19. *Papaver*. Capsule; opercule soulevé. Il est formé par les stigmates.
20. *Hyosciamus*. Capsule; opercule adhérent *a*.
21, 22. Solanées. Styles articulés au point *a*.
23. Ovule de nymphæacée.
   a. Primine.
   b. Secondine et endostome.
   c. Raphé.
   d. Funicule.
   e. Trachées.

Le cercle qui sépare la primine de la secondine est l'exostome. Le sommet de la secondine forme l'opercule de la graine.

24. La même figure. Opercule détaché sur lequel on observe l'endostome.
25. La même figure, dans laquelle on distingue plus nettement la primine *a*, la secondine *b*, l'exostome *g*, et l'endostome *h*, le raphé *c*, le funicule *d*, et sur la coupe transversale de celui-ci deux faisceaux vasculaires *e*, *f*, le premier formé de trachées.
26. La même figure coupée verticalement, dans laquelle on distingue assez clairement le funicule *f*; le raphé *g* et ses deux faisceaux vasculaires *k*, *l*; la chalaze *h*, et un faisceau principal qui part de ce point, en le traversant, pour aller au sommet du nucèle, à travers les tissus *m*, pour se mettre en rapport avec l'embryon[1]; la primine *a*, la secondine *b* et la partie de son mérithalle limbaire ou operculaire *i*, le nucèle *c*, une partie de la quintine *e*, l'embryon et son cordon

[1] D'après les travaux récents de MM. R. Brown et Ad. Brongniart, et surtout d'après ceux plus récents de M. Schléden, ce dernier fait serait inexact, ce dont je n'ai pu m'assurer depuis que je suis de retour en France. Je le laisse donc subsister jusqu'à preuves matérielles du contraire, quoique tout prêt à reconnaître mon erreur si, comme je suis fort disposé à le croire, cela en est une.

J'ai indiqué ce trajet en vert, non que j'y aie vu des trachées, mais parce que je suis convaincu que dans certains cas il pourrait s'en trouver, ce qui ne s'est pas vérifié jusqu'à ce moment.

suspenseur; et, entre la quintine et le nucèle, les tissus cellulaires de la fausse quartine *d* (périsperme).

27. Graine mûre et desséchée du même ovule.
a. Endostome, ouverture située au sommet de l'opercule *g*.
b. Exostome.
c. Vaisseaux mérithalliens; trachées.
d. Vaisseaux nourriciers; les deux appartiennent au hile.
e. Raphé.
f. Chalaze.
g. Opercule. C'est, pour moi, le mérithalle limbaire réduit de la secondine.

28. *Cubeba* (*piper cubeba*).

Fleurs en épis d'abord, puis en grappes, composées d'une écaille sessile *a*, d'un ovaire sessile d'abord, puis pédicellé (gynophore, *c*, *d*) de deux étamines, *b*, *b'*, et de trois ou quatre stigmates *e*. *f* représente l'épi et quelques ovaires pédicellés.

29. *Serronia* (*S. Jaborandi*).

M. Guillemin a bien voulu admettre ce genre, que j'ai formé dans mon avant-dernier voyage au Brésil, ne connaissant pas le genre *ottonia* établi par Sprengel.

Fleurs en épis d'abord, puis en grappes; composées d'une écaille pédicellée *a* distante; d'un pédicule (gynandrophore *c*) qui porte à la fois à son sommet les étamines *b* et le pistil *d*; *e* trois ou quatre stigmates, *f* grappe réduite.

30. *Piper* (*piper nigrum*).

Fleurs en épis; *a* écailles larges, peltées, sessiles; ovaires et étamines sessiles, les dernières stériles, caduques.

a. Écaille; bords redressés sur les ovaires..
d, *d'*. Ovaire.
e, *e'*. Stigmates.

31. Ovule d'*Euryale*.
a. Funicule. C'est le mérithalle tigellaire de la feuille arillaire *b*.
b. Arille.

c. Raphé, ou mérithalle tigellaire déformé de la feuille ovulaire ou priminaire.

d. Chalaze, ou mésophyte de la feuille ovulaire.

e. Exostome; micropyle.

La feuille *b* grandie de manière à envelopper tout l'ovule et toute la graine.

Nous reviendrons en temps convenable sur la composition anomale des ovules arillés.

32. Embryon d'*euryale;* coupe verticale des enveloppes de l'embryon.

a. Enveloppe extérieure; arille.

b. Enveloppe intérieure; cotylédon.

c. Bourrelet formé par la feuille primordiale; limbe avorté.

d. Bord de la feuille primordiale ou mésophyte.

e. Feuille secondaire (la quatrième).

f. Feuille tertiaire (la cinquième).

32'. Légumineuse; graine arillée.

a. Graine.

b. Arille; limbe ou pétiole de la feuille arillaire. Le funicule en est le mérithalle moyen ou inférieur.

33. Coupe verticale d'une noix mûre de *cycas circinalis.*

a. Épiderme rougeâtre.

b. Pulpe charnue; brou.

c. Noix; coque.

d. Tissu cellulaire intérieur; cavité.

e. Graine suspendue; membrane extérieure très-mince, périsperme blanc et farineux; plusieurs ovules au sommet. Le périsperme de ce sommet est bruni par une très-grande quantité de petits grains rougeâtres analogues à ceux du pollen.

f. Chalaze très-mince aussi, large, rougeâtre.

g. Stigmate perforé.

h. Ovules suspendus (ordinairement trois à cinq). (Observ. des îles Mariannes). Cordon vésiculeux double.

i. Partie ferme aussi; mais plutôt gommeuse que féculente (5e).

34. Coupe verticale d'une graine mûre de *cycas circinalis.*

a. Cavité dans la partie supérieure du périsperme. Elle renferme ordinairement un grand nombre de sacs ovulaires libres, analogues à ceux qui sont figurés 33, *h*, rougeâtres à l'une de leurs extrémités, comme les bases *a* des figures 36 et 38.

b. Membrane ovulaire mince, flavescente.

c. Ovule stérile suspendu. Il s'en trouve ordinairement quatre dans le même cas.

d. Embryon; deux cotylédons inégaux.

e. Plumule.

f. Chalaze plus colorée.

g. Cordon suspenseur déroulé; mais ramassé en un seul point.

35. Coupe verticale d'un embryon de *cycas circinalis*, grandeur naturelle.

a. Base du cordon ombilical ou suspenseur.

b. Cavité celluleuse.

c. Radicule; traces de vaisseaux radiculaires.

d. Plumule.

e. Cotylédons.

36. Embryon jeune du *cycas circinalis* (ovule) formé primitivement par deux cellules ou sacs emboîtés l'un dans l'autre. Cette partie est ordinairement rougeâtre et ressemble assez bien à du pollen celluleux; elle fait corps avec le périsperme.

a. Sommet du cordon ombilical.

b. Enveloppe extérieure.

c. Enveloppe intérieure vue par transparence.

d. Embryon naissant. En ce point les deux sacs paraissent soudés.

Il y a du tissu cellulaire extérieurement, intérieurement et entre les deux membranes de ce singulier cordon ombilical. Il était vide au centre.

37. Le même, enflé et coupé transversalement.

b, *c*. Membranes (extérieure et intérieure) libres dans une grande partie de leur étendue.

f. Tissu cellulaire intérieur.

e. Tissu cellulaire extérieur.
d. Embryon un peu plus avancé.

38. Embryon complétement développé.
a. Sommet du cordon ombilical, semblable encore à celui de la figure 36, rougeâtre.
b. Corps du cordon ombilical singulièrement développé.
c. Base enflée du cordon ombilical.
d. Embryon; cotylédons inégaux.
e. Embryon stérile situé sur un rameau du cordon suspenseur.

Dans mon dernier voyage, et depuis, à Paris, j'ai reconnu que cette prétendue ramification est une erreur, et que l'embryon avorté *e* est celui d'un autre sac ovulaire primitivement libre, mais étroitement soudé par approche.

Dix observations récentes, faites sur les cycas de Bourbon, ne m'ont laissé aucun doute à ce sujet.

Mes premières observations aux îles Mariannes auraient-elles été faites sur des espèces ou sur des états différents? Je serais assez porté à le croire, puisque M. R. Brown, dont on connaît la grande exactitude, a aussi observé des cordons suspenseurs de l'embryon rameux, et, si je m'en souviens bien, analogues à ceux du *gnetum* (I, 14).

39. Fragment grossi du cordon ombilical vésiculeux, double (fig. 36 et 37).
b. Membrane extérieure.
c. Membrane intérieure.
e. Tissu cellulaire extérieur.
f. Tissu cellulaire intérieur.
g. Tissu cellulaire intermédiaire.

40. Graine de *thoa* ou *gnetum;* coupe longitudinale d'une graine grossie.
a. Périsperme ferme, cassant, blanc.
b b'. Cavité de la quintine? Si elle existe, elle est soudée au périsperme, et munie d'un tissu cellulaire abondant.
c. Cordon ombilical contourné.
d. Embryon jeune. (La figure 46 représente la coupe longitudinale de cet embryon).

41. La même, plus avancée, grossie.
   a. Tégument du périsperme.
   b. Périsperme.
   c c'. Cavité de la quintine?
   d. Cordon ombilical enveloppé et rempli de tissu cellulaire. Il est à croire que tous les cordons stériles de la fig. 14, pl. I, font partie de ce cordon suspenseur.
   e. Embryon. On distingue à sa surface des sortes de sillons et des nervures; feuilles cotylédonaires.
   f. Ce rebord doit former le sommet d'une feuille ombilicale ou cotylédonaire réduite.
   g. Tigelle et cotylédons? La germination seule pourra nous fixer sur la nature de cette partie et de la précédente. Il pourrait se faire que *f* fût un cotylédon, et *g* une feuille primordiale (plumule).

42. La même, de grandeur naturelle.
   a, *b*, *c*, *c'*, *d*, *e*. Comme dans la figure précédente.

43. Embryon de *thoa* libre.
   a. Cordon suspenseur; sortes de vaisseaux fasciculés rameux et tissu cellulaire.
   b. Embryon; cotylédons?
   c. Plumule? deux feuilles opposées?
   d. Nervures saillantes.
   e. Rameaux ou lambeaux du cordon suspenseur déchiré.
   f. Tissu cellulaire très-épais, blanc.

On remarquera que les pointes de ce que je regarde comme des cotylédons *h*, *h'*, ont la même direction que celle de ce que je prends pour la plumule *c*, ce qui n'est pas naturel. J'expliquerai ce fait, en admettant que les sinus *k* correspondent aux axes des feuilles avortées, et représentent les cicatrices que laissent ordinairement après elles les feuilles détachées (voyez fig. 54, *c*, *f*, *h*, *l*). Dans ce cas, les pointes *h*, *h'*, seraient *n*, *b*, fig. 54, et les nervures des cotylédons *d* ne seraient pas comme je les ai fait figurer.

44. Sommet du cordon ombilical et embryon de la même plante, pris sur un autre individu.

a. Cordon ombilical ou suspenseur composé.
b. Cotylédons; deux lobes moins prononcés.
c. Plumule.
d. Nervures.

45. La même figure, autre position.
a, *b*, *c*, *d*, comme dans la figure précédente.

46. Coupe verticale d'un jeune embryon de *gnetum* (*thoa*) de la fig. 40.
a. Cordon suspenseur.
b. Embryon jeune.
c. Plumule jeune (Trace de la).
d. Radicule naissante?
e. Tissu cellulaire léger remplissant le centre du tube.

47. Jeune embryon suspendu du *rhizophora mangle*.
a. Funicule très-long, celluleux?
b. Embryon.

48. Embryon de *piper*.
a. Funicule? (Sommet de la quintine?)
b. Sac embryonnaire (M. de Mirbel). Est-ce la quintine?

49. La même figure, coupée verticalement.
a. Sorte de cordon suspenseur. Est-ce le sommet de la quintine?
b. Cordon ombilical; il porte l'embryon.
c. Sac embryonnaire ou quintine?
d. Tissu cellulaire intérieur.
e. Embryon.
f. Filet qui correspond à la chalaze? Il se détruit ordinairement[1].

50, 51, 52. Embryons de *piper* et de *nymphæa*.
a. Cordon ombilical.
b. Tigelle.
c. Cotylédons.

[1] La petite cavité embryonnaire est tapissée d'un tissu cellulaire distinct du précédent *d*. ce qui fait trois sortes de périspermes autour de l'embryon. Je reviendrai sur ce sujet important dans des mémoires spéciaux sur les piperacées, nymphæacées, cabombées, saururées, etc.

53. Embryon d'*exocarpus*.
   a. Cordon ombilical.
   b. Tigelle enflée.
   c. Cotylédons.

54. Théorie des bourgeons, scions, rameaux, etc.
   a. Bourgeon terminal du marronnier d'Inde.
   b. Cicatrices des feuilles supérieures de l'année précédente vues de profil; pas de mérithalle inférieur; de un à trois points vasculaires seulement.
   c. Les mêmes, plus inférieures, cinq points vasculaires.
   d. Mérithalle inférieur de la feuille *c*.
   e. Bourgeons axillaires.
   f. Cicatrices de deux feuilles opposées; sept points vasculaires.
   g. Mérithalles des feuilles représentées par les cicatrices *f*. Ce point indique le milieu d'un scion annuel (réduit).
   h. Impression de feuille (base de pétiole) vue de face; sept à neuf points vasculaires; un petit bourgeon axillaire au centre.
   i. Bourgeon de la première feuille du scion *g*.

Cette feuille est la première ou inférieure du scion, ou la dernière écaille supérieure du bourgeon. On remarque plusieurs autres bourgeons très-réduits dans l'aisselle des écailles situées au-dessous.

   k. Cicatricules des écailles du bourgeon qui a produit le scion.
   l. Autre cicatrice vue de face; c'est celle de la dernière feuille normale de l'année précédente.
   m. Partie du mérithalle tigellaire de la feuille *l*.

55. Mode de développement des épines par des feuilles de plus en plus réduites.
   a, *a'*. Écaille ou feuille avortée.
   b, *b'*. Vaisseaux mérithalliens de l'écorce.

56. Coupe d'un tronçon d'épine.
   a. Feuille écailleuse.
   b. Vaisseaux mérithalliens de l'écorce.
   c. Vaisseaux du mérithalle supérieur.

57. La même figure, écaille détachée.

a. Bourgeon.
b. Vaisseaux du système ascendant au mérithallien de l'écorce.
c. Cicatrice d'où la feuille écailleuse a été détachée.

Dès que le bourgeon *a* se développe, l'épine devient rameau, de même que la vrille 13, lorsqu'elle donne des bourgeons axillaires *b*.

58. Graine de courge de grandeur naturelle.
a. Hile et micropyle.

59. Amande de la même graine.
a. Chalaze.
b. Tube filiforme suspenseur.

60. La même, dépouillée, vue de face.
a. Cotylédon, nervures.
b. Caulicule (radicule des auteurs) ou premier mérithalle (mérithalle tigellaire).
c. Point où se forme la racine ou radicule.
d. Cordon ombilical ou suspenseur.

Une membrane très-mince, transparente entre les cotylédons; elle est visible dans presque tous les embryons et cotylédons épais. Elle est très-remarquable dans le *nelumbium;* elle est formée par les bords rentrants de la partie interne de l'enveloppe propre de la graine (endosperme, etc.)

61. *Cucurbita pepo*, embryon grossi vu de face. Disposition des nervures mises à nu par la dissection.
a. Vaisseaux du mérithalle pétiolaire ou limbaire.
b, *b'*. Vaisseaux du mérithalle caulinaire. Ils alternent avec les premiers.
c. Point d'où part la radicule ou racine.

Les vaisseaux tubuleux de la racine cotylédonaire alternent avec ceux de la tigelle (radicule des auteurs), comme les faisceaux de la tigelle le font avec ceux des cotylédons. Tous les vaisseaux représentés dans cette figure appartiennent au système supérieur ou ascendant. Dans cette feuille en partie disséquée et vue de face, on ne remarque que les vaisseaux de deux mérithalles, mérithalle tigellaire *b b'*, et mérithalle limbaire *a*. Si mon observation a toute l'exactitude que je lui sup-

pose, il faut admettre ou qu'il n'y a pas de pétiole dans cet embryon, ou que ce que je regarde comme le limbe n'est qu'un pétiole élargi.

d. Rameaux antérieurs des vaisseaux cotylédonaires.

62. Germination. Premier état.
   a. Tigelle (radicule des auteurs).
   b. Cotylédons et nervures.
   c. Base tronquée de la tigelle; radicule.
   d. Racine ou radicule latérale et radicelles; elles proviennent des feuilles primordiales.
   e. Tête de la graine.

63. La même, plus avancée.
   a. Cotylédons et nervures. Mode d'agencement de ces dernières.
   b. Tigelle (radicule des auteurs), fibres alternes avec celles du cotylédon.
   c. Base tronquée de la tigelle (radicule avortée).
   d. Radicule vraie ou racine cotylédonaire. C'est la racine de la feuille primordiale, d'où l'obliquité de cette partie.
   e. Radicelles.

64. Disposition des nervures intérieures *a* sur les nervures extérieures *b;* de la coupe verticale d'un cotylédon dans son épaisseur.

65. Disposition des vaisseaux mérithalliens dans le sommet de la tigelle *b b'* (radicule des auteurs).

66. La même coupe prise en *b'*.

67. La même, prise près de la base *c*.

PLANCHE VII.

1. Germination du *cereus quadrangularis*.
   a. Cotylédons peu développés.
   b. Tigelle cotylédonaire.
   c. Radicule et radicelles.

2. La même germination plus avancée.
   a; *b*; *c*. Comme dans la figure 1.

d. Bourgeon cotylédonaire d'où sort la tigelle primordiale (Gemmule).

3. *Opuntia brasiliensis*. Embryon développé de grandeur naturelle.
   a. Cotylédons.
   b. Tigelle (radicule des auteurs).
   c. Racine et radicelles.

4. *Aristolochia labiosa*. Germination grandeur naturelle.
   a. Cotylédons pétiolés un peu obliques.
   b. Tigelle. (Radicule des auteurs.)
   c. Radicule, racine et radicelles.
   d. Bourgeon (plumule).

5. *Casuarina equisetifolia*.
   a. Cotylédons.
   b. Tigelle.
   c. Radicule, racine et radicelles.
   d. Graine (carpelle).
   e. Aile membraneuse de la graine ou carpelle.
   f. Trachées nombreuses (vaisseaux spiraux).
   g. Trachée déroulée.
6. *h*. Bourgeon (plumule).

7. La même graine détachée.
   c. Radicule. De *i* à *k* Membrane très-mince entourant la tige de la radicule. — *i*. Languettes figurant assez bien deux cotylédons. Cette membrane, analogue à celle qu'on remarque sur les conifères en germination, se détache promptement. J'ai pensé quelque temps que le point *k* était la base de la tigelle, que les languettes *i* représentaient des cotylédons fugaces, et que la tigelle *b* était un mérithalle primordial.

Cette pellicule *i-k* a deux ou trois lobes au sommet *i;* ne serait-elle qu'un tégument de la graine entraînée par la radicule *k*, analogue à *p*, fig. 25? C'est ce que de nouvelles observations pourront seules décider.

8. La même. Plumule développée, rameuse, grandeur naturelle. La pellicule *i-k* est à trois lobes au sommet.

9. Germination du *piper nigrum*. Fruit entier couronné par trois stigmates.

10. Graine dépouillée de son enveloppe charnue, avant la germination; huit à dix nervures ou côtes saillantes.

11. Premier état de la germination.
   a. Nervures huit à dix; une au centre de chaque dentelure, une dans chaque sinus.
   b. Quatre à cinq dentelures à la graine.
   c. Sac embryonnaire (quintine). Il s'allonge et se déchire irrégulièrement au sommet pour donner passage à la radicule.
   d. Cotylédons libres encore, renfermés dans la graine et dans le sac embryonnaire.
   e. Tigelle (radicule des auteurs).
   Racines primordiales coléorhizées.
   g. Racine ou radicule vraie des cotylédons.

12. Germination grossie du *piper lucidum*.
   a. Graine. — Cinq dents irrégulières; nervures longitudinales; stries transversales.
   b. Dentelures.
   c. Sac embryonnaire (quintine).
   d. Tigelle (radicule des auteurs). Lignes longitudinales et stries transversales.
   e. Radicule ou racine cotylédonaire. Elle se développe dans la germination.
   f. Radicelles.

13. Coupe longitudinale de la même graine par le centre des cotylédons.
   a, *b*, *c*, *d*, *e*. Comme dans la figure précédente.
   h. Cavité dans le périsperme.

14. La même germination. Cotylédons pointillés à trois nervures principales; bourgeon au centre.

15. Embryon avant l'épanouissement des cotylédons.
   a. Cotylédons.
   b. Tigelle ou radicule des auteurs.

16. Coupe longitudinale de la graine et du sac embryonnaire après la germination. Une cavité au centre du périsperme.
17. Sac embryonnaire détaché (quintine).

18. *Nymphæa trisepala.* (*Nymphæa albo viridis?* de M. Aug. de Saint-Hilaire.) Germination grossie.
   a. Graine; ouverture denticulée.
   b. Tigelle ou radicule des auteurs.
   c. Radicelles coléorhizées.
   d. Deux pétioles cotylédonaires épaissis, libres, charnus et comme stipulés à la base.
   e. Premier méritballe primordial.
   f. Première feuille du bourgeon primordial à l'état rudimentaire. Elle manque dans quelques espèces; alors elle est représentée par un simple bourrelet moins apparent.
   g, *g*. Racines du bourgeon primordial coléorhizées.
   g', *g'*. Radicelles coléorhizées des racines du bourgeon primordial.
   h. Première feuille régulière du bourgeon primordial.
   i. Deuxième feuille régulière du bourgeon primordial.
   k. Troisième, à limbe encore roulé.

19. Germination du nélumbo (*nelumbium*).

Premier état. — Cotylédons entr'ouverts. Plumule encore enveloppée par une membrane périspermoïde transparente, analogue à celle qu'on observe dans toutes les graines à cotylédons charnus, telles que les amandes, les courges, les noix, etc.

Ici, par suite de nombreuses modifications qui s'opèrent dans cette graine anomale (*avortement de la tigelle ou radicule des auteurs; absence du périsperme qui caractérise les graines de toutes les plantes de cette famille, etc.*), cette membrane acquiert un développement remarquable; elle enveloppe entièrement la plumule. Cette plumule grandit avec les cotylédons et en remplit toute la concavité.

   a. Point convexe, perforé, qui remplace la tigelle et la radicule.
   b. Cotylédons charnus, concaves intérieurement.
   c. Impression de la chalaze.
   d. Plumule vue au travers de la membrane blanche, transparente.

20. La même; germination plus avancée dont on a séparé un cotylédon au point *m*.
   a. Tigelle et radicule avortées, perforées.
   b. Cotylédon très-épais, concave intérieurement, dans lequel on observe des vaisseaux mérithalliens.
   c c'. Impression de la chalaze.
   d. Pellicule blanche, mince, transparente, qui enveloppe toute la plumule avant la germination.
   e. Première feuille du bourgeon primordial (feuille primordiale). Elle commence à se déplier.
   f. Deuxième, encore pliée.
   g. Troisième, en développement.
   h. Limbe de la feuille *e;* bords roulés.
   i. Tigelle primordiale. Si la tigelle cotylédonaire se développait, celle-ci serait la seconde, ou le second mérithalle tigellaire; c'est l'analogue du mérithalle *e* de la figure 18.
   k. Racines coléorhizées des feuilles secondaires, tertiaires, etc.
   l. Vaisseaux tubuleux (sortes de lacunes), larges, qui vont du sommet à la base de la tigelle.

L'ouverture *a* semble indiquer que la tigelle, ou mérithalle cotylédonaire, serait aussi perforée si elle se développait.

   m. Le point d'attache du second cotylédon.

21. *Bruguiera*, *gymnhoriza* en germination.
   a. Quatre cotylédons.
   b. Tigelle, radicule des auteurs, fortement canaliculée.

22. Le même, dans toute sa longueur.
   a. Calice ovaire.
   b. Ovule.
   c. Cotylédon.
   d. Radicule des auteurs ou mérithalle tigellaire.

23. *Rhizophora*, *mangle*.

Ovaire de grandeur naturelle, surmonté des deux lobes du stigmate.

   a. Calice à quatre lobes.

24. Germination naissante.
a. Pédoncule.
c. Lobes du calice.
d. Ovaire.
h. Lobes du stigmate.
k. Tigelle ou radicule naissante.

25. La même plus avancée.
a, *c*, *d*, *h*, *k*. Comme dans la figure précédente. Tigelle (radicule des auteurs) plus avancée.
p. Sommet de la membrane intérieure, entraîné par la radicule[1].

26. Germination aérienne complète, mais réduite ici.
a. Pédoncule.
b. Écailles bractéales, cachées.
c. Lobes du calice.
d. Ovaire; au moment de la germination il s'accroît en tout sens.
f. Base du pétiole cotylédonaire.
h. Lobes du stigmate.
i. Articulation du pétiole cotylédonaire avec la tigelle.
k. Tigelle.
l. Lenticelles sur la tigelle.

26'. Coupe longitudinale de la germination complète.
a, *b*, *c*, *d*. Comme dans les figures précédentes.
e. Ovule ouvert.
f. Partie pétiolaire des cotylédons soudés.
g. Plumule.
h. Lobes du stigmate.
i. Articulation des pétioles soudés avec la tigelle.
k. Partie supérieure de la tigelle (radicule des auteurs).
l. Hile.
m. Cavité des cotylédons soudés.

27. Embryon dégagé de ses enveloppes.

[1] Cette membrane est mince, blanche, diaphane, singulièrement développée. Ce fragment cupulliforme reste ordinairement appliqué sur la pointe de la tigelle (radicule) qui s'en est chargée, en perforant les membranes du fruit. Cette perforation a lieu au travers du tissu cellulaire tendre 38 *h*, et par les vaisseaux stigmatiques 38 *f*, 24, 26 *h*.

f. Cotylédons soudés (*crus* de Jacquin).
i. Articulation de la feuille cotylédonaire avec la tigelle.
k. Tigelle (radicule).

28. Coupe verticale des cotylédons soudés de la tigelle et de la plumule jeunes.
f. Cotylédons charnus.
g. Plumule.
i. Articulation des bases pétiolaires soudées des cotylédons *f* avec la tigelle *k*.
y. Vaisseaux mérithalliens de la tigelle.
k. Tigelle.
k'. Vaisseaux des cotylédons mérithalliens.
m. Cavité des cotylédons.

29. Coupe longitudinale des cotylédons soudés.
i. Articulation de la partie pétiolaire des cotylédons soudés, avec la tigelle (radicule).
m. Cavité formée par la partie pétiolaire; le sommet est rempli de tissu cellulaire très-peu consistant.

30. Sommet de la tigelle (radicule).
g. Bourgeon renfermant deux stipules et les deux feuilles primordiales.
i. Articulation de la tigelle avec le pétiole; passage de vaisseaux mérithalliens.
k. Fragment de tigelle.

31. La même figure grossie et tronquée au sommet.
g. Bourgeon renfermant les feuilles primordiales; leur mode d'enroulement.
i. Articulation et points verts figurant les vaisseaux mérithalliens.
k. Fragment de tigelle.
r. Bourrelet léger (mérithalle primordial naissant).

32. Ovule coupé verticalement.
e. Membrane extérieure, épaisse, dure, rougeâtre, ovale.
l. Hile.
o. Membrane intérieure, mince, blanche, déchirée au sommet par le passage de la tigelle (radicule).

p. Sommet de la même, ordinairement porté au dehors par la tigelle.

33. Premier état de développement du bourgeon.
g. Bourgeon.
i. Articulation du pétiole sur la tigelle. Vaisseaux mérithalliens.
k. Tigelle (radicule).

34. *e*. Base de l'ovule dans l'ovaire.
f. Base des pétioles soudés.
i. Articulation des feuilles cotylédonaires soudées *f* à la tigelle *k*.
k. Sommet de la tigelle.
l. Hile ; sorte de funicule court.
n. Sorte de membrane transparente (arille funiculaire).

35. Bourgeon développé.
i. Articulation des feuilles cotylédonaires soudées avec la tigelle (radicule). Les points verts indiquent le sommet des vaisseaux mérithalliens de la tigelle (radicule) et la base des vaisseaux mérithalliens des pétioles.
k. Sommet de la tigelle (radicule).
s. Bourrelet. Il est surmonté d'un second renflement sur lequel étaient fixées les stipules.
t. Mérithalle primordial.
u. Bourgeon terminal (tertiaire).
x. Mérithalle du bourgeon terminal ou tertiaire.
z. Feuilles primordiales.

36. Base de la tigelle plus avancée.
r. Coupe horizontale. Les points verts indiquent les vaisseaux mérithalliens.
r'. Racines coléorhizées. Ces racines sortent de la tigelle par des fentes horizontales (fausse coléorhize).

37. Coupe horizontale de la tigelle *k* au-dessous de son articulation avec le pétiole *f* des autres figures. Les points verts indiquent les vaisseaux mérithalliens.

38. Coupe verticale d'un ovaire de *rhizaphora mangle* avant la germination.

a. Pédoncule.
b. Bractées avortées.
c. Calice, ovaire adhérent, semi-infère.
d. Lobes du calice.
e. Partie supérieure de l'ovaire.
f. Stigmate bifide (deux stigmates).
g. Ovule, embryon suspendu.
h. Tissu cellulaire, tendre, périspermoïde.

39. *Avicennia* (Brésil-Rio).
a. Cotylédons appliqués et pliés.
b. Tigelle, partie glabre (radicule des auteurs).
c. Tigelle, partie velue (radicule des auteurs).
d. Racine cotylédonaire ou radicule vraie, c'est-à-dire appartenant au système descendant. Tout le reste de l'embryon appartient au système ascendant.

40. *Loranthus aphyllus* (Chili, Coquimbo).

Cette plante croît sur le *cereus peruvianus*, ou *eburneus*, ses baies sont rondes, roses, de 3 à 4 lignes de diamètre, polyspermes.

La germination commence dans les fruits encore fixés à la plante; les graines se tuméfient et se couvrent d'une couche épaisse de matière gélatineuse, rose, transparente. La tigelle *b*, *b'*, *b''*, *b'''*, qui s'en échappe, s'allonge de deux à trois pouces. Elle est rougeâtre et couverte, surtout vers la base, d'une matière gélatineuse abondante qui sert à la fixer aux corps, spécialement aux longs aiguillons du cierge. Une fois fixées par n'importe quelle partie, ces graines dirigent la base de leur tigelle *a*, *a'*, *a''*, *a'''* (radicule), vers le tronc du *cereus*, où elle s'élargit en plateau et implante bientôt après de nombreuses racines *a*.

Mode d'insertion du *loranthus aphyllus* sur le *cereus a*.

b, *b'*, *b''*, *b'''*. Divers états de développement des tigelles. Elles sont à peu près de grosseur naturelle.
c c c. Graines. L'anneau représente la matière gélatineuse transparente extérieure.
d. Cotylédons. La pointe est encore renfermée dans la graine.
c'. Coupe longitudinale d'une graine et du sommet de l'embryon.

Cotylédons appliqués d'; leur pointe remplit l'espace qu'occupait tout l'embryon avant la germination.

41. Figure idéale, destinée à montrer le développement et le mode d'agencement des tissus vasculaires ligneux des deux systèmes, ascendant et descendant.

Les flèches dirigées de bas en haut indiquent le système ascendant des végétaux, celui qui forme le canal médullaire; les autres, à pointe renversée, indiquent le système descendant ou radiculaire.

Cette figure donne encore la théorie des développements réguliers et irréguliers des mérithalles dans les végétaux à feuilles opposées et alternes, les inégalités du canal médullaire, etc. Chaque faisceau vasculaire enroulé, vert, figure la tigelle, le pétiole et le limbe d'une feuille, les prolongements inférieurs, les vaisseaux radiculaires.

Elle représenterait une tige de dicotylédone à feuilles distiques, coupées verticalement par les nervures moyennes des feuilles a à k.

Les feuilles a-m figurent des cotylédons; celles qui sont situées immédiatement au-dessus b, c, d, n, o, p, des feuilles primordiales, à mérithalles inférieurs courts, et en apparence opposés; les autres, e, f, g, h, i, k, q, r, s, t, u, des feuilles alternes, avec les irrégularités de développement qui se remarquent dans la nature, c'est-à-dire que les mérithalles tigellaires inférieurs et supérieurs, qui correspondent au printemps et à l'automne, sont plus courts. l, bourgeon naissant.

Les flèches dirigées de bas en haut indiquent la longueur des mérithalles tigellaires ou inférieurs de chaque feuille, ceux qui servent à former le canal médullaire, et qui produisent l'accroissement en hauteur. Leurs parties latérales et extérieures représentent les pétioles et les limbes qui, au bout d'un temps donné, cessent de faire partie du végétal. v Canal médullaire de l'embryon. v' Canal médullaire de la tige.

Les flèches dirigées de haut en bas donnent par leur longueur celle des racines ou tissus radiculaires de chaque feuille. Exemple:

a, m. Racine ou radicule de l'embryon.
a' Sommet du mérithalle tigellaire de l'embryon.
b'. Base. C'est aussi la base réelle du tronc, c'est-à-dire le point où commence la racine.
c'. Base de la radicule de l'embryon.

d'. Base tronquée du végétal. (Elle est tronquée ici à défaut d'espace.)

e'. Rayons médullaires de la tige.

f. Rayons médullaires de la tige et de la racine.

g'. Écorce de la racine, distincte de celle de la tige[1].

i'. Écorce de la tige. Elle a des vaisseaux mérithalliens réguliers, qui sont irréguliers ou manquent totalement dans la racine. (Fibres de l'écorce.)

k'. Représente la couche ligneuse la plus extérieure produite par la feuille supérieure *k* vers la base de la tige.

k''. La même couche dans la racine.

42. Figure idéale, analogue à la précédente, destinée aussi à montrer l'organisation des tiges, le mode de développement des tissus et de superposition des couches ligneuses.

Elle n'est, à bien dire, que la répétition de la figure précédente. Chaque faisceau représente, dans son système ascendant, la tigelle, le pétiole et le limbe; dans son système descendant, la radicule.

Ces faisceaux réunis des systèmes ascendant et descendant forment ici des lignes droites et simples, ce qui n'a pas lieu dans la nature, ainsi que je l'ai montré I, 1, 2, 3, 4, 5, 6; II, VI, 60, 61, 62, 63, etc.

Le système supérieur, ou mérithallien, part du point *x*, qui est le nœud vital réel.

a, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*. Mérithalles de longueurs diverses, formant le canal médullaire.

a' à *k'*. Les bases radiculaires des mêmes mérithalles.

a'' à *k''* indiquent la partie pétiolaire et limbaire des feuilles. Le pétiole et le limbe se détachent ordinairement, et il ne reste plus que le mérithalle tigellaire (VIII, 5, *a-o*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*.)

En *l* commence la partie radiculaire de la feuille *k''*; en *m*, celle de *i''*; en *n*, celle de *h''*; en *o*, celle de *g''*; en *p*, celle de *f''*; et ainsi de suite jusqu'à *t*, qui est celle de la feuille *b''*, laquelle couvre le mérithalle tigellaire *a*.

u' représente donc la racine de la feuille *a''*; *t'* celle de la feuille *b''*.

[1] *Archives de botanique*, décembre 1833; *Annales des sciences naturelles*, septembre 1836.

[2] Cette partie *a-o* s'allonge-t-elle pendant l'accroissement en diamètre des tiges pour suivre la cicatrice *u*?

et ainsi de suite jusqu'à *l'*, qui est la plus extérieure et qui figure la racine de la feuille supérieure *k''*.

D'après cette figure, on voit que toute la partie ligneuse située entre le canal médullaire et l'écorce de *l* à *t* est exactement organisée comme toute la partie inférieure *u'*, *l'*, et que s'il existe quelque différence dans l'organisation des tissus de cette partie supérieure *l*, *t*, comparée à la partie inférieure *u' l'*, cela tient surtout à la nature des milieux dans lesquels elles se développent; car il y a continuité dans les vaisseaux radiculaires de la feuille *k''* depuis *l* jusqu'à *k'*. D'où l'on voit clairement que ces mêmes vaisseaux radiculaires de la feuille supérieure enveloppent tous ceux des feuilles inférieures.

43. Germination destinée à montrer les deux systèmes ascendant et descendant dans les deux figures idéales 42 et 44.

a. Cotylédons (mérithalles pétiolaires et limbaires).
b. Tigelle (mérithalle tigellaire ou inférieur).
c. Nœud vital (mésocauléorhize).
d. Racine.
e. Base.

La ligne X des figures 42, 43, 44 indique le mésocauléorhize ou nœud vital. C'est là qu'est la base du système ascendant, et que commence le canal médullaire.

44. Figure idéale analogue aux nos 41 et 42, destinée à montrer le mode de développement du bois et de l'écorce, et l'agencement de leurs couches successives.

Les grandes capitales indiquent : A, le bois; B, l'écorce; C, la voie du cambium; D, la moelle; E, l'écorce primitive. (Cette dernière lettre a été oubliée sur la figure).

SYSTÈME SUPÉRIEUR.

A. *a*, *b*, *c*. Mérithalles tigellaires de trois années, formant une partie du canal médullaire.

B.[1] *a'*, *b'*, *c'*. Les trois couches successives de liber correspondent aux trois couches A du bois.

[1] La ligne verticale rouge représente l'épiderme, la pulpe ou moelle extérieure et les vaisseaux mérithalliens de l'écorce.

a'', b'', c''. L'extrémité des fibres ou vaisseaux mérithalliens de l'écorce superposés.

SYSTÈME INFÉRIEUR.

A. a''', b''', c'''. Base du bois ou des vaisseaux radiculaires des couches ligneuses.

B. a''', b''', c'''. Base des couches fibreuses du liber.

AB. a, a'. Couches inférieures du bois et de l'écorce; l'une a, la plus intérieure du bois et touchant à la moelle; l'autre a', la plus extérieure du liber.

b, b'. Couche moyenne du bois et du liber.

c, c'. Les dernières couches formées du bois et du liber, l'une c extérieure au bois, l'autre c' intérieure à l'écorce.

d. Épiderme et vaisseaux mérithalliens de l'écorce.

e. Tissu cellulaire extérieur.

f. Couche de liber de la première année.

g. Couche de liber de la seconde année.

h. Couche de liber de la troisième année.

i. Voie du cambium. C'est dans cette voie que les sucs élaborés dans les feuilles viennent de haut en bas se convertir en tissus ligneux et corticaux, d'après des lois que nous formulerons dans la partie de ce travail qui traitera de la physiologie et de l'organogénie.

k. Couche de bois de la troisième année.

l. Couche de bois de la seconde année.

m. Couche de bois de la première année.

n. Moelle.

p, q, r. Vaisseaux radiculaires d'une quatrième année, pénétrant dans une racine.

Les racines, comme les bourgeons, sont ordinairement formées par des courants cellulifères dans lesquels les vaisseaux radiculaires sont dirigés, ainsi que les fibres de leur liber qui ne s'en séparent jamais dans les monocotylédones et peut-être dans quelques dicotylédones, ainsi que nous tenterons de le prouver plus tard. Dans la majorité des dicotylédones, ces couches annuelles de liber et de bois qui s'organisent

et se développent ensemble sont annuellement aussi, et couche par couche, séparées les unes des autres; c'est-à-dire que si une couche annuelle de bois se compose de cinq ou six rangs excentriques de tissus ligneux, la couche de liber sera formée d'un égal nombre de rangs concentriques de tissus fibreux (XV, 10, 11).

r', *q'*, *p'*. Les mêmes vaisseaux d'inégales longueurs.

o. Développement des racines. Elles sont formées d'un rayonnement médullaire dans lequel pénètrent les tissus radiculaires qui descendent du bourgeon et s'organisent de proche en proche.

PLANCHE VIII.

1. Germination grossie du *cucurbita pepo*. Exemple de radicule (mérithalle tigellaire) creuse.
   a, *a'*. Cotylédons.
   b. Tigelle (radicelle des auteurs).
   c. Radicule avortée du cotylédon *a'*.
   d. Racine de la feuille primordiale *f*.
   e. Radicule.
   f Feuille primordiale.

2. La même figure coupée par l'axe de la feuille primordiale *f*.
   a. Cotylédons.
   b. Tigelle (radicule des auteurs). Exemple de tigelle creuse.
   c. Portion de la radicule avortée du cotylédon *a*.
   c'. Portion de la radicule avortée du cotylédon *a'*.
   d. Racine de la feuille primordiale.
   e. Radicelle.
   f. Feuille primordiale.
   g. Vaisseaux des feuilles naissantes du bourgeon (feuilles secondaires, tertiaires, etc.).
   h. Concavité du mérithalle tigellaire des cotylédons.
   i. Vaisseaux ascendants des cotylédons et descendants des feuilles du bourgeon.

3. Partie de la même figure grossie.

a, *a'*. Lobe du cotylédon tronqué.
f. Feuille primordiale.
k. Feuille secondaire.
l. Reste du bourgeon.
m, *m'*. Vaisseaux mérithalliens des feuilles primordiales *f*, *k*.
n, *n'*. Vaisseaux radiculaires des autres feuilles du bourgeon.

Là commencent les développements irréguliers ou boiteux des vaisseaux mérithalliens des plantes à feuilles alternes. Dans notre travail, nous donnerons les lois qui président à ces irrégularités, lois beaucoup plus simples qu'on ne se l'est généralement figuré jusqu'à ce jour.

4. *Arundo donax*. Coupe verticale grossie d'une tige.
a. Feuille inférieure.
b. Feuille moyenne.
c. Mérithalle tigellaire de la feuille moyenne.
d. Mérithalle tigellaire de la feuille supérieure.
e. Sorte de diaphragme médullaire, blanc, fugace.
f. *g*. Concavité du mérithalle tigellaire moyen.
h. Concavité du mérithalle tigellaire supérieur.
i. Concavité du mérithalle tigellaire inférieur.
k. Vaisseaux du système ascendant de la feuille moyenne.
k' Vaisseaux du système ascendant de la feuille supérieure.
k''. Vaisseaux du système ascendant de la feuille inférieure.
l. Vaisseaux du système descendant de la feuille supérieure.
l'. Vaisseaux du système descendant de la feuille moyenne.
m, *m'*. Cloisons formées par les vaisseaux du système descendant des feuilles supérieures et par ceux des bourgeons axillaires.
n. Bourgeon axillaire de la feuille moyenne.
o. Bourgeon axillaire de la feuille inférieure.
p, *q*. Vaisseaux du système descendant ou radiculaire des bourgeons *n*, *o*.
r, *r'*. Vaisseaux du système descendant dirigés vers la circonférence dans les racines adventives.

5. Coupe verticale d'un bourgeon de marronnier (*æsculus hypocastanum*.)

a. Vaisseaux mérithalliens de la dernière feuille de l'année précédente, qui s'est détachée à l'automne.

b, *c*, *d*, *e*, *f*. Vaisseaux mérithalliens ou ascendants des écailles du bourgeon de l'année.

g, *h*, *i*. Vaisseaux méritalliens ou ascendants des feuilles de la même année, naissants ou encore réduits à l'état gélatineux.

k. Tissu cellulaire naissant, mou ou gélatineux, coloré. Il s'affaisse et disparaît presque complétement pendant une certaine saison de l'année par la dessiccation; d'où résulte souvent une concavité.

k', *k'*. Tissu cellulaire solide, blanc. Moelle.

l. Épiderme.

m, *n*, *o*. Vaisseaux du système ascendant du mérithalle tigellaire au point où il pénètre dans le pétiole.

o, *o'*. Trachées.

n, *n'*. Vaisseaux séveux de l'écorce.

m, *m'*. Vaisseaux mérithalliens de l'écorce de la feuille *u* et vaisseaux du latex.

p. Espace libre entre les écailles du bourgeon.

p'. Espace libre entre les feuilles rudimentaires.

q. Place du tissu cellulaire extérieur ou pulpe.

r. Voie du cambium. Espace compris entre le bois et l'écorce; très-humide au printemps.

s. Corps ligneux de l'année précédente de *a* à *e*.

t. Vaisseaux mérithalliens de l'écorce de l'écaille *b*. Ce sont eux qui forment en dessous la couche *t* de liber.

u, *u'*. Sommets des mérithalles tigellaires des dernières feuilles supérieures normales du bourgeon de l'année précédente.

x. Trajets ou vaisseaux naissants de la feuille remplis, en mars, de matière gélatineuse.

6. Coupe verticale d'une carotte (*Daucus carota*).

a, *a'*. Vaisseaux radiculaires sinueux sur un prolongement médullaire. Racines naissantes.

b. Vaisseaux mérithalliens.

c, *c*. Canal médullaire. Moelle.

7. Fragment d'une carotte dépouillée de son écorce. Vaisseaux mérithalliens au sommet *b;* vaisseaux radiculaires à la base et sur les radicelles adventives *a*, *a'*.
8. Radicelle adventive. Tissu cellulaire allongé du centre vers la circonférence, couvert progressivement par les vaisseaux radiculaires, qui finissent par aller composer les fibrilles à la circonférence *a*.
9. Coupe verticale de la même.
   a. Rayonnement horizontal.
10. Borne (cyprès distique).
11. La même coupe verticale de la borne *a* et de la racine *b*, *b*, qui l'a produite.

PLANCHE IX.

Théorie du développement des tiges monocotylédones.

1. *Allium porrum;* coupe horizontale; dispositions des feuilles; vaisseaux du système ascendant.
2. *Allium porrum;* coupe verticale; dispositions des vaisseaux ascendants et descendants.
   a, *a'*. Point de départ des deux systèmes : canal médullaire.
   b. Sorte d'écorce.
   c, *d*. Vaisseaux mérithalliens de différentes dimensions.
   e. Vaisseaux du système ascendant.
   f, *f'*. Racines (chevelu).
   g. Vaisseaux du système descendant entre-croisés avec les vaisseaux du système ascendant.
   h, *h'*. Bases persistantes des feuilles anciennes.
3. *Allium porrum;* coupe horizontale du plateau.
   f, *f'*. Racines.
4. La même, grossie. Les vaisseaux du système ascendant y figurent des rayons médullaires.
   a. Point d'où partent les deux systèmes.
   b, *b'*. Sorte d'écorce blanche, charnue.

c. Rayons vasculaires formés par la dépression du système ascendant ou mérithallien. Ils se bifurquent, se ramifient et changent de nature au centre, et de là ils vont en descendant jusqu'à la circonférence, où ils pénètrent dans les racines *e*.

d. Les mêmes : trachées.

e. Base des racines.

g. Canal médullaire.

Cette figure et la suivante sont destinées à montrer que les tiges herbacées des monocotylédones sont exactement organisées comme celles des monocotylédones ligneuses ou arborescentes, et la grande analogie d'organisation qui existe sous certains rapports entre les monocotylédones et les dicotylédones.

5. *Allium porrum* : coupe verticale grossie.

Disposition du système ascendant, vert ; descendant intérieur (*vaisseaux ligneux*), violet ; descendant extérieur ou radicifère, bleu.

Les figures 6, 7, 8, 9 sont destinées à donner une idée de la nature des principaux vaisseaux des différents systèmes. Toutes les modifications de ces vaisseaux seront exactement données dans le travail général.

A. Cette partie de la figure donne une idée assez exacte de la coupe naturelle grossie. Elle est cependant forcée pour la démonstration.

B. La même, incomplète, mais plus grossie et plus forcée encore.

a, *a'*, *a''*. Vaisseaux du système ascendant.

a'. Ramifications antérieures des faisceaux vasculaires.

a''. Point d'où partent les deux systèmes.

b, *b'*. Vaisseaux radiculaires ou caulinaires ; leur mode de ramifications.

c, *c*. Racines ; elles reçoivent les vaisseaux radiculaires, caulinaires ou ligneux du plateau.

c', *c'*. Autres racines ; ce sont celles qui se détruisent les premières. Elles ont été formées par les premières feuilles.

c'', *c''*. Racines naissantes ; elles sont formées par les feuilles supérieures.

d, *d'*, *d''*. Faisceaux de trachées du système ascendant.

d', *d'*. Faisceaux singuliers extérieurs.

f. Tige (hampe) centrale.
g. Sorte de canal médullaire.

6. Vaisseaux du système ascendant primitif.
7, 8, 9. Vaisseaux du système descendant.

PLANCHE X.

1. Tige de graminée offrant la base d'un mérithalle supérieur *n*, un mérithalle moyen entier *o* et, inférieurement, le sommet d'un troisième *p*. (*Arundo donax*).
i. Bourgeon.
h. Racine adventive.
m. Base de la gaîne de la feuille inférieure.

2. La même; coupe verticale d'un nœud situé entre le mérithalle supérieur et le moyen.
k. Base du mérithalle supérieur.
l. Sommet du mérithalle tigellaire inférieur.

Les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* de ces deux premières figures indiquent les points où ont été faites les coupes représentées dans toutes les autres 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Ces tranches verticales et horizontales indiquent mieux que ne sauraient le faire mes descriptions la marche des tissus des deux systèmes. On voit en effet de quelle manière les vaisseaux ascendants du mérithalle supérieur se divisent à sa base pour former la cloison et l'accroissement ligneux de ces sortes de tiges par leurs tissus descendants, et comment ceux-ci se croisent avec les vaisseaux ascendants de la feuille inférieure.

3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 montrent la disposition des tissus divers dans des coupes transversales faites aux points de la tige indiqués par les lettres correspondantes.

On voit d'un seul coup d'œil la grande analogie de composition qui existe entre cette plante monocotylédone à mérithalles tigellaires très-développés, et celle du *xanthorræa arborea*, 10, 11, 12, 13, 14 et 15 de la même planche; 2, 3, 4, 5 de la planche IX.

Xanthorræa resinosa ou *arborea*. — Parties de la tige.

10. Tranche horizontale privée de son écorce.
   a. Centre de la partie horizontale, au point de départ des deux systèmes.
   b. Vaisseaux horizontaux du système ascendant.
   c. Vaisseaux du système descendant. Ils sont de plus en plus pressés vers la circonférence.
   d, *d*. Points extérieurs ou viennent aboutir les vaisseaux du système ascendant.
   d', *d'*. Les mêmes, pour montrer qu'ils renferment des trachées.
   e. Mode d'agencement des vaisseaux *c* du système descendant.

11. Coupe horizontale du *xanthorræa resinosa* réduite des trois quarts, dans laquelle on distingue :
   a. Le centre, sorte de canal médullaire sillonné en tous sens par les vaisseaux des deux systèmes; ce qui a également lieu dans toutes les monocotylédones vivaces.
   b, *b'*. Rayons formés par le système ascendant déjetés de haut en bas.
   c. Couche épaisse de vaisseaux tubuleux sous-mérithalliens ou descendants très-serrés à la circonférence.
   f. Espèce d'écorce formée par les bases persistantes des feuilles, et enveloppée d'une matière résineuse rouge.

12. Partie grossie de la même coupe.
   a. Centre.
   b. Vaisseaux du système ascendant couchés horizontalement.
   c. Vaisseaux du système descendant.
   f. Matière résineuse rouge de l'écorce disposée par couches, et enveloppant les bases pétiolaires des feuilles.
   g. Point où le système ascendant se divise pour se convertir en système descendant.

13. Ce fragment, encore réduit, de la même tige montre à la fois la coupe horizontale A et la coupe verticale B.
   a. Centre. Sorte de canal médullaire traversé par des fragments de vaisseaux des deux systèmes.
   b, *b'*. Extrémités des vaisseaux du système ascendant.
   c, *c'*. Vaisseaux du système descendant. Ils sont de plus en plus pressés vers la circonférence.

f. Sorte d'écorce composée des bases pétiolaires de toutes les feuilles enveloppées de matière résineuse rouge.

g, *g'*. Divisions des faisceaux ascendants et leur conversion en tissus descendants.

14. Partie intérieure de l'écorce.

b, *b'*. Vaisseaux du système ascendant.

d, *d'*. Prolongements intérieurs des mêmes vaisseaux qui pénètrent dans le bois (dans les tissus radiculaires du système descendant *e* de la figure 10). Disposition symétrique de ces faisceaux.

f. Matière résineuse rouge par couches.

h. Sinus entre lesquels descendent les faisceaux vasculaires du système descendant *c*, *e*, de la figure 10.

15. Fragment de la même tige, dans lequel on distingue, de plus que dans les autres figures, la partie extérieure de l'écorce, c'est-à-dire la partie extérieure des bases pétiolaires persistantes et l'arrangement de ces parties.

Ces figures sont en partie copiées sur celles que M. de Candolle a fait faire dans son Organographie, pl. VII et VIII, sur un échantillon de ce bois que je lui ai donné en 1821. J'ai dû les reproduire ici pour plusieurs motifs qui seront convenablement justifiés dans mon travail général, et surtout pour montrer la grande analogie d'organisation qui existe entre les tiges ligneuses et les plateaux herbacés des monocotylédones.

Il suffira en effet de comparer entre elles : 1° la fig. 4 de la pl. IX et la fig. 11 de la pl. X; 2° la fig. 5 de la pl. IX et la fig. 13 de la pl. X, pour reconnaître ce fait important et général dans les monocotylédones.

On remarquera encore que les fig. 4 et 5 de la pl. X sont également analogues à la fig. 11 de la même planche et aux fig. 3 et 4 de la pl. IX; et qu'il en est de même de la fig. 2, pl. X, et de la fig. 4, pl. VIII, avec les fig. 13, pl. X, et 5, pl. IX. Nous partirons de ces exemples et de quelques autres encore que nous ne pouvons citer tous ici, pour prouver qu'il n'y a dans la nature qu'un seul plan d'organisation pour les végétaux vasculaires, monocotylédonés et dicotylédonés, et que ces

deux groupes importants ne diffèrent entre eux, sous ce rapport, que parce qu'il n'y a qu'un système vasculaire primitif dans les monocotylédones, et qu'il y en a deux ou plusieurs dans les dicotylédones ou polycotylédones, et que ces deux premières modifications produisent naturellement toutes les autres. Les différences qui se remarquent dans la composition des faisceaux vasculaires de ces deux classes de végétaux tiennent à plusieurs causes, et spécialement à celles que j'ai indiquées sommairement page 7, mais sur lesquelles je donnerai les plus minutieux détails dans la troisième partie de ce travail.

PLANCHE XI.

1. Germination grossie du radis (*raphanus sativus*).
   - *a*. Bourgeon axifère ou plumule.
   - *b*, *b'*. Cotylédons.
   - *c*. Tigelle.
   - *d*. Racine et radicelles.
   - *e*. Mésocauléorhize ou base de la tigelle (radicule des auteurs). et sommet de la racine.
   - *f*. Mésophyte.
   - *k*. Ligne de séparation des cotylédons.

2. Radis (*raphanus sativus*) développé.
   - *a*. Bourgeon axifère ou terminal.
   - *b*, *b'*. Cotylédons (protophylles, Aub. du Petit-Thouars).
   - *c*. Tigelle de *f* à *e*.
   - *d*. Racine et radicelles: celles-ci forment deux lignes de haut en bas dans la direction des cotylédons.
   - *e*. Base de la tige (mésocauléorhize); c'est aussi celle de la tigelle (radicule des auteurs) ou mérithalle cotylédonaire inférieur.
   - *f*. Mésophyte.
   - *h*. Feuilles primordiales sessiles; elles sont indifféremment à mérithalles courts ou à mérithalles longs (voyez 10 à 13).
   - *i*. Languette celluleuse, épidermoïde des cotylédons.

3. Germination grossie du radis (*raphanus sativus*) à trois cotylédons. *a*, *b*, *b'*, *b''*, *c*, *d*, *e*, *f*. Comme dans les figures précédentes.

Les modifications offertes par la coupe horizontale de cet embryon nous fourniront de nouveaux faits pour prouver que les embryons dicotylédonés et polycotylédonés résultent bien de la réunion de deux ou de plusieurs feuilles cotylédonaires (*protophylles*, Aub. du Petit-Thouars, ou *protophytes*).

4. Coupe longitudinale de la figure première.
   a, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*. Comme dans les figures précédentes.
   g g'. Bourgeons axillaires.
   h. Vaisseaux spiraux ou trachées.
   l. Moelle.

La tigelle comprise entre *e* et *f* forme un canal médullaire composé de trachées; il y en a encore au-dessus, dans le pétiole; mais pas au-dessous, dans la racine.

Les radicelles *d* partent du centre fibreux de cette racine, dans la direction des cotylédons, et conséquemment des languettes celluleuses.

5. Vaisseaux spiraux ou trachées du canal médullaire et de tout le système ascendant, formant des faisceaux distincts, dont le nombre est déterminé pour chaque cotylédon, comme pour chaque appendice foliacé quelconque.
6. Germination de radis (*raphanus sativus*).

Les lettres A à T indiquent les points où ont été faites les coupes transversales représentées, fig. 7, par les lettres correspondantes.

7. Toutes ces figures représentent des coupes transversales faites sur l'embryon 6 aux lettres correspondantes.

Les lettres *a*, *h*, A, indiquent les faisceaux vasculaires et leurs modifications. (Voyez page 14.)

8. Dispositions générales des faisceaux vasculaires du système ascendant dans les cotylédons.
A B C correspondent aux mêmes lettres de la figure précédente.

9. Divers états de développement des parties du système ascendant du *raphanus sativus* et de ses variétés.
Bourgeon primordial sessile.
   b, *b'*. Pétioles cotylédonaires.

c. Tigelle (Sommet de la).
c'. Tige radiculaire (base de la tigelle).
d. Radicule ou racine et radicelles; ces dernières, sur deux rangs opposés, sous les cotylédons.
e. Base de la tigelle cotylédonaire (mésocauléorhize).
f. Mésophyte.
h, *h'*. Feuilles primordiales sessiles ordinairement opposées entre elles et alternes avec les cotylédons.
i, *i'*. Ligules (languettes) celluleuses des cotylédons.
k, *k'*. Feuilles secondaires, ordinairement opposées, quand le bourgeon primordial est sessile sur les cotylédons.
l, *m*, *n*. Feuilles alternes.

10. Autre état.
b, *b'*, *c*, *c'*, *d*, *e*, *f*, *i*, *i'*, *k*, *k'*. Comme dans la figure précédente.
g. Bourgeon axillaire du cotylédon.
g'. Bourgeon axillaire de la feuille primordiale.
h, *h*. Feuilles primordiales.
h', *h''*. Mérithalles distincts des feuilles primordiales.
k, *k'*. Feuilles tertiaire et quaternaire.
k''. Mérithalle de la feuille secondaire.

11. La même figure, le bourgeon primordial régulièrement allongé.
b, *b'*, *c*, *c'*, *d*, *e*, *f*, *g*, *i*, *k*, *k'*. Comme dans la figure précédente.
k''. Feuilles tertiaires quelquefois opposées.
g. Bourgeon axillaire des cotylédons.
h'. Mérithalle primordial régulier.

12. La même, bourgeon primordial irrégulier.
b, *g*, *g'*. Comme dans les figures précédentes.
b'. Cicatrice de l'autre cotylédon.
h. Une feuille primordiale sessile, comme dans la figure 9.
h'. Seconde feuille primordiale (mérithalle moyen ou pétiolaire).
h''. Mérithalle inférieur (mérithalle tigellaire), de la feuille *h'*.
k. Première feuille secondaire.
k'. Le mérithalle inférieur, inégal, de la première feuille secondaire.
k''. La seconde.

13. Autre état. Cotylédons et feuilles primordiales détachés.
b', *b''*. Cicatrices des feuilles cotylédonaires.
g, *g'*. Bourgeons axillaires des cotylédons.
g''. Bourgeon de la feuille primordiale.
h. Cicatrice de la feuille primordiale.
h'. Mérithalle de la même feuille.
k, *k'*. Feuilles secondaires, tertiaires, etc.
k'', *k'''*. Mérithalles inférieurs inégaux, distincts des feuilles secondaires et tertaires.

14. Coupe verticale grossie d'un radis.
a. Disposition des vaisseaux ascendants des cotylédons.
b. Disposition des vaisseaux ascendants des feuilles primordiales alternes ou opposées.
c. Tissu cellulo-médullaire extérieur aux vaisseaux cotylédonaires.
d, *d'*, *d''*. Vaisseaux descendants ou radiculaires des feuilles primordiales.
e. Rayons médullaires.
f. Trachées du système ascendant.
g, *g'*. Languettes celluleuses épidermoïdes.
h. Épiderme secondaire.
i. Radicelles, sur deux rangs.
k. Mérithalle tigellaire ou inférieur des feuilles primordiales.
l. Vaisseaux radiculaires des feuilles tertiaires et du bourgeon, enveloppant les vaisseaux mérithalliens primordiaux.

15. Jeune embryon de radis. *a* Tigelle courte et grossie, pour montrer le mode d'accroissement, en hauteur et en largeur, des végétaux. La tigelle (mérithalle tigellaire), longue de six lignes *a*, est partagée en douze parties par autant de points colorés.

16. Même figure. Tigelle doublée en hauteur *a*, *b*, et en largeur. Dans cet accroissement, qui a été uniforme dans toutes les parties, les points colorés, qui étaient à une demi-ligne de distance, ont été portés à une ligne. Le diamètre s'est également accru du double par l'égal développement des tissus de la tigelle et par l'adjection des fibres radiculaires extrêmement ténues du bourgeon. Ce mode d'accroissement des tis-

sus est général dans le règne végétal. Plus tard, dans un article qui traitera particulièrement des forces qui président à ces développements, nous signalerons les exceptions et les modifications les plus remarquables que nous avons rencontrées, et quelquefois aussi les causes du moins probables qui les produisent.

La germination de l'*allium cæpa* (V. 13) est l'exemple que nous avons choisi pour prouver que le même mode d'accroissement a lieu dans les monocotylédones.

Les théories seront établies dans l'ouvrage général que je prépare sur ce sujet.

PLANCHE XII.

1. Betterave. Coupe verticale du bourgeon terminal, dans laquelle on distingue la disposition des vaisseaux mérithalliens *a*, les vaisseaux radiculaires ou sous-mérithalliens *b*, et les mêmes vaisseaux du centre tordus *c*.

2. Coupe horizontale de la tige souterraine.

a. Épiderme.

b, *b'*. Zone fibreuse extérieure, la sixième en partant du centre. Elle est peut-être formée par les fibres de l'écorce. Mes manuscrits et mes dessins n'ont pu me fixer sur ce point, qui est à revoir.

c, *c'*. Zone fibreuse plus intérieure, la cinquième.

c''. Partie extérieure de la même.

d, *d'*. Zone fibreuse encore plus intérieure, la quatrième.

d''. Partie intérieure des faisceaux.

e. Partie interne de la troisième zone fibreuse.

f. Deuxième zone fibreuse.

f, *f'*. Partie intérieure de cette même zone à vaisseaux anastomosés, contournés en spirales.

g, *g'*. Première zone. C'est elle qui, avec le système ascendant, forme le canal médullaire réel. Ce dernier faisceau vasculaire est quelquefois droit comme je le représente *g'*, mais plus ordinairement tordu, comme dans la figure *1 c*.

Ceux des autres couches f'' sont également tordus. Ce phénomène de torsion s'expliquera naturellement quand je traiterai des verticilles irréguliers ou en spires, et par suite de l'irrégularité des forces de développement de leurs parties. Toutes ces zones fibreuses sont doubles, ainsi que le démontre cette figure. La couche intérieure représenterait-elle les tissus de l'écorce, ainsi que je l'ai pensé? Des études anatomiques et microscopiques pourront seules le démontrer.

h, h', h'', h'''. Sortes de canaux remplis de sucs colorés. Dans cette plante, les couches ou zones indiquent peut-être les verticilles?

3. Figure idéale, pour montrer les modifications qu'éprouvent les vaisseaux radiculaires dans leur diamètre.

4. Vaisseaux 2 f'' détachés, grossis, destinés à montrer le mode d'agencement, d'où résultent les mailles ou rayons médullaires.

5. Pomme de terre (*solanum tuberosum*) dite artichaut ou ananas.
   a, a'. Exemples de feuilles tubéreuses.
   b, b', b''. Bourgeons tubéreux.

6. *Lathræa clandestina.*
   a, a'. Exemples de feuilles squammeuses. Les orobanches sont à peu près dans le même cas.
   b, b'. Bourgeons axillaires.

7. Embryon du *cereus quadrangularis.*
   a. Exemple de cotylédons tubéreux.
   b. Cordon ombilical.
   c. Radicule.

8. Embryon de *piper.*
   a. Cotylédons tubéreux.
   b. Cordon ombilical.
   c. Radicule.

9. Embryon de nymphæa.
   a. Cotylédons tubéreux, peu développés.

b. Cordon ombilical.
c. Radicule.

10. Embryon d'*exocarpus*.
a. Cotylédons.
b. Cordon ombilical creux.
c. Radicule.

11. *Solanum tuberosum*. Mode de développement des bourgeons tubéreux.
a. Fragment de tige de pomme de terre.
b. Branche souterraine.
c, *c'*, *c''*. Bourgeons tubéreux dans divers états de développement.

On voit que le bourgeon *c''* est recourbé comme ceux qui sont immédiatement situés au-dessous de lui. Tous conservent cette position tant que les rameaux qu'ils terminent s'allongent.

De la base de chaque rameau *f*, *f'*, *f''*, *f'''* partent leurs racines *d*, *d'*, *d''*, *d'''*, *c*. bourgeon rudimentaire sous une écaille.
e, *e'*. Feuilles rudimentaires.

12. Rameau souterrain, grossi.
c. Bourgeon terminal courbé.
e, *e'*, *e''*, *e'''*. Feuilles rudimentaires.

13. Navet commun.
a. Cicatricules des feuilles anciennes ou de la base, cotylédons et autres.
b. Feuilles nouvelles ou supérieures tronquées.

14. Navet commun dont on a enlevé l'écorce d'un côté pour montrer la disposition des vaisseaux tubuleux des feuilles supérieures à la surface de tous les autres. Voyez page 17.
a. Bourgeon terminal. Les fibres radiculaires des feuilles rudimentaires de ce sommet passent à la circonférence des mêmes fibres de toutes les feuilles inférieures.
b, *b'*. Base des pétioles des feuilles moyennes dont on a mis les fibres à nu.
c, *c'*. Coupe transversale des mêmes pétioles pour montrer la dis-

position des fibres ou vaisseaux du système ascendant ou mérithallien.

d, *d'*. Bases disséquées des mêmes pétioles pour montrer les vaisseaux mérithalliens entre lesquels passent les tissus radiculaires des feuilles terminales.

e, *e'*. Vaisseaux tronqués du système ascendant des feuilles inférieures (13 *a*), entre lesquels passent aussi les vaisseaux radiculaires des feuilles supérieures. Ils sont représentés par des points.

f, *f'*, *f''*. Vaisseaux du système descendant des feuilles terminales. Ils partent du sommet du navet, traversent les fibres ascendantes des feuilles moyennes *b*, *d*, circulent entre celles des feuilles inférieures *e*, qui sont représentées par des points, et vont jusqu'à la base souterraine de la tige. De distance en distance partent des radicelles *g* dont les bases forment généralement comme dans les radis, etc. deux lignes opposées. Ces lignes correspondent aux bases dorsales des cotylédons. Les radicelles proviennent des feuilles inférieures ou anciennes. On voit que leurs bases ne forment qu'une seule ligne de haut en bas.

15. Coupe longitudinale d'un navet pour démontrer le développement des deux systèmes.

a. Sorte de moelle.

b. Vaisseaux du système ascendant des feuilles primordiales.

c. Vaisseaux du système ascendant des cotylédons.

d. Écorce.

e. Tissus radiculaires des feuilles.

f. Tissus cellulaires ou rayons médullaires disposés dans les mailles des tissus descendants ou radiculaires des feuilles comme ils le sont dans les mailles du système ascendant.

g. Vaisseaux du système ascendant des cotylédons. Ils vont souvent jusque près de la base du navet qui, dans ce cas, est aussi celle de la tigelle de l'embryon. La longueur de ces vaisseaux varie selon les espèces et les individus.

16. Fragment grossi de la figure précédente.

a. Sorte de canal médullaire formé par une partie (mérithalles

tigellaires) du système ascendant des feuilles du bourgeon.

b. Vaisseaux ascendants des cotylédons.

c, *d*, *e*, *f*, *g*. Vaisseaux ascendants des mérithalles tigellaires des autres feuilles.

h. Sommet du bourgeon.

i. Vaisseaux descendants des feuilles.

k. Rayons médullaires. Ils s'étendent jusque dans les tissus de l'écorce.

l, *l*, *l'*. Vaisseaux ascendants de l'écorce. Ils devraient avoir ici une coloration à part.

m, *m'*. Voie du cambium par où passent les vaisseaux descendants des feuilles supérieures. Elle n'est pas assez nettement indiquée ici.

n, *n'*. Partie inférieure de l'écorce. Épiderme.

17. Bouture de *dracæna*.

a, *a'*. Cicatrices des feuilles.

b, *b'*. Bourgeons axillaires latents.

c, *c'*. Vaisseaux (trachées) du système ascendant.

d. Racines.

e. Bois ancien mis à nu.

18. Fragment de la même bouture après la macération. Formation des racines par les vaisseaux radiculaires des feuilles.

a, *d*, *e*. Comme dans la figure précédente.

PLANCHE XIII.

1. Tronçon de tige d'une liane de la famille des Sapindacées, dans laquelle on a passé des cheveux pour montrer que les faisceaux vasculaires extérieurs se divisent et se réunissent alternativement, et se croisent même en passant les uns sur les autres. Ils se dirigent aussi parfois vers le faisceau centre.

a et *b*. Cheveux passés dans un faisceau vasculaire qui se divise inférieurement. Ils vont sortir par les rameaux du même faisceau *a'*, *b'*.

c, *c'*. Cheveu passé dans un faisceau inférieur.

d, *d'*. Cheveu passé dans un faisceau supérieur. Cette expérience

démontre que, dans ce cas, les vaisseaux tubuleux de ces deux faisceaux sont croisés.

Au centre de cette tige on distingue le véritable canal médullaire. Il n'y a qu'un peu de médulle éparse dans les autres corps ligneux.

2. Tige ligneuse (liane) de Sapindacée sur la tranche de laquelle on distingue, en outre des quatre faisceaux ligneux, les douze principaux faisceaux vasculaires mérithalliens de l'écorce.
   a. Corps ligneux central. Canal médullaire et moelle.
   b, *b'*, *b''*. Corps ligneux de la circonférence, sans canaux médullaires.
   c, *c'*, *c''*. Corps fibreux de l'écorce. J'ai représenté ici les douze principaux; ils correspondent aux nervures principales des feuilles et appartiennent originairement au système mérithallien ou ascendant de ces plantes.

Ils s'accroissent par l'adjection des prolongements radiculaires des mêmes vaisseaux de toute les feuilles supérieures; ces sortes de vaisseaux radiculaires du système fibreux de l'écorce, ne descendent pas toujours régulièrement dans les faisceaux principaux; ils se ramifient souvent comme on le voit en *d*, *d'*.

   e. Base d'un rameau tronqué. Ce rameau s'était développé dans l'aisselle d'une feuille dont les figures *f*, *f'*, *f''* montrent les trois principaux faisceaux mérithalliens de l'écorce.

3. La même tige disséquée en partie pour montrer la disposition de ces faisceaux radiculaires ou ligneux au sommet d'un mérithalle tigellaire à la base d'un mérithalle pétiolaire.
   a. Point par lequel le cheveu *b* passe du corps ligneux central *c* dans le corps ligneux de la circonférence *f* pour sortir au point *b'*.
   c. Corps ligneux central où se trouve le canal médullaire.
   d, *e*, *f*. Corps ligneux de la circonférence.

Les ramifications ligneuses qu'on observe au point *a* sont produites primitivement par le passage des vaisseaux mérithalliens d'une feuille.

4. Une tranche de la même tige grossie.

a, *a'*, *a''*. Vaisseaux mérithalliens de l'écorce.

b. Moelle du canal médullaire.

b', *b''*, *b'''*. Traces de moelle (tissu cellulaire) sans canal médullaire dans les trois autres corps ligneux.

c, *c'*. Couches de liber.

d, *d'*, *d''*, *d'''*. Corps ligneux formés par les tissus radiculaires de toutes les feuilles. Si ces tissus diffèrent de ceux des racines ce n'est que par l'influence du milieu dans lequel ils se développent et vivent ainsi que je le démontrerai plus tard : en sorte que, pour moi, dans ces tiges anomales, comme dans toutes les autres, tout le bois compris entre l'écorce et le canal médullaire est formé de tissus radiculaires semblables à ceux des racines ou à peine modifiés.

5. *Cissus hydrophora*. Bouture de deux ans.

a. Bouture disséquée par la macération. Tissus ligneux anciens droits.

a'. Base.

b. Premier rameau. Il a étendu ses vaisseaux radiculaires à la surface de la bouture, puis dans les racines qui se sont formées.

c. Deuxième rameau. Il s'est développé dans l'aisselle d'une feuille à la partie extérieure et inférieure du premier qu'on avait coupé. On voit nettement que ce deuxième rameau envoie ses prolongements ligneux ou radiculaires sur le premier rameau, sur le tronc ancien et jusque dans les racines.

d. Racines formées par le prolongement des vaisseaux radiculaires des deux rameaux.

e, *e'*, *e''*. Trachées du système ascendant de la bouture et des rameaux.

f. Trachées des cicatrices.

Cet exemple et les suivants doivent être considérés comme de véritables greffes naturelles.

6. Bouture faite avec une racine de *maclura*.

a. Jeunes rameaux qui se sont développés entre le bois et l'écorce.

b. Ecorce.

c. Vaisseaux radiculaires des bourgeons. Ils sont quelquefois distincts jusqu'à la base, où ils forment autant de racines. Ici les sept faisceaux radiculaires se sont réunis en deux racines seulement *d*, *d'*.

e, *e'*. Bois ancien mis à nu par la macération.

7. Bouture de la même racine dans laquelle les faisceaux radiculaires ou ligneux de trois rameaux se sont réunis dans une seule racine.

a, *b*, *c*, *d*, *e*. Comme dans la figure précédente.

8. Autre bouture de la même racine.

Ici l'on n'a laissé croître qu'un seul bourgeon. Ses vaisseaux radiculaires, peu éparpillés sur le tronc, se sont tous réunis à la base dans une seule racine.

a. Rameau.
b. Écorce.
c. Faisceau radiculaire du bourgeon.
d. Racine du bourgeon.
e. Tissus ligneux anciens.

Je n'établis aucune différence entre la greffe des tissus radiculaires des bourgeons adventifs, figures *5*, *6*, *7* et *8*, sur leur bois ancien, et celle qui s'opère entre une greffe quelconque et son sujet.

9. Tige d'un jeune châtaignier auquel on a enlevé une bande circulaire d'écorce.

a, *a'*. Écorce.
b. Tissus radiculaires ou ligneux anciens mis à nu.
c. Bord supérieur de la cicatrice.

10. La même figure, quatre ou cinq mois après.

Il s'est formé un bourrelet qui n'avait pas encore atteint le bord inférieur de l'écorce.

a, *a'*. Écorce.
b'. Bois ancien mis à nu.
c. Bord supérieur de la cicatrice.
d. Bourrelet émarginé à la base.

Il y a eu un notable accroissement de la tige en *a*, tandis que *a'* est resté à peu près dans le même état.

11. La même figure, coupée verticalement.
a, *a'*, *b*, *c*, *d*. Comme dans la figure précédente.
e, *e'*. Amas de tissu cellulaire prêt à bourgeonner ou à recevoir les tissus radiculaires de la circonférence du bourrelet *d*.

12. L'autre partie, dépouillée de son écorce par la macération.
b. Tissus anciens du bois.
e. Légère couche ligneuse. Elle était probablement organisée avant l'expérience. Dans le cas contraire elle proviendrait de bourgeons latents qui se seraient formés dans le tissu cellulaire *11*, *e*, *e'*.
f. Vaisseaux radiculaires ou ligneux.
f'. Un vaisseau radiculaire ou ligneux détaché.

PLANCHE XIV.

1. Tige de pipéracée privée d'une portion de son écorce.
a, *b*. Ouvertures par où passaient les vaisseaux du système ascendant d'une feuille. Les points indiquent ces vaisseaux ou la place qu'ils occupaient.
c. Ramifications du système descendant, formant les rayons médullaires.
d. Sorte d'articulation indiquant l'insertion de la feuille. (Mésophyte.) C'est le point de réunion de deux mérithalles.
e. Vaisseaux mérithalliens situés au centre de la moelle sur deux rangs.

2. Coupe horizontale grossie de la même tige.
a. Écorce.
b. Vaisseaux propres ou mérithalliens de l'écorce. Ils appartiennent au système ascendant, et correspondent ordinairement, pour le nombre, avec les lames ligneuses qui sont séparées par les rayons médullaires, et avec les vaisseaux du centre qui appartiennent au même système ascendant.
c. Vaisseaux ligneux dichotomes.

d. Rayons médullaires.

e. Canal médullaire situé au centre de la moelle et séparé du bois. Vaisseaux mérithalliens disposés sur deux rangs, ce qui s'observe dans plusieurs groupes de dicotylédones à feuilles alternes et de monocotylédones. Ce sont les vaisseaux médullaires (*vasa fibrosa*, Hedw.) des auteurs.

3. Coupe longitudinale de la même tige, par un nœud.

a, *b*, *c*, *d*, *e*. Comme dans la figure précédente.

e'. Les mêmes vaisseaux dans le mérithalle supérieur.

e''. Les mêmes dans le mérithalle inférieur.

f, *f'*. Vaisseaux radiculaires du mérithalle supérieur. En passant du mérithalle supérieur dans l'inférieur, ces faisceaux se contournent un peu, ce que je n'ai pu rendre dans ce dessin.

g, *g*. Vaisseaux ascendants du mérithalle inférieur à leur entrée dans le pétiole. On connaît leurs ramifications.

h. Moelle extérieure.

i. Moelle moyenne.

k. Moelle intérieure.

4. *Bignonia capreolata*. Coupe horizontale d'une tige (liane).

a. Vaisseaux principaux mérithalliens de l'écorce.

b. Vaisseaux secondaires mérithalliens de l'écorce.

c. Couches de liber, etc.

d. Rayon médullaire.

e. Rayon ligneux du bois. Cinq années.

f. Canal médullaire.

g. Couches lignifiées d'une sorte de liber.

h. Couches du même liber, encore herbacées.

i. Couches du même liber, ayant la consistance du liber général.

k. Les quatre couches du liber mou et encore herbacé *h*. Elles se détachent très-facilement quand on brise les tiges vivantes.

l. Quatre côtes longitudinales formées à la surface de la tige par les vaisseaux principaux de l'écorce.

5. Coupe verticale d'un faisceau vasculaire mérithallien de la moelle du piper *1*, *2*, *3*, etc.

a. Fibres ligneuses analogues au liber.

b. Tube ou canal fort large.
c, *c'*. Vaisseaux tubuleux.
d. Vaisseaux ligneux, serrés, rayonnés.
e. Vaisseaux déroulables. Trachées.
f. Autre faisceau vasculaire analogue à celui de la figure *a*, et ayant l'aspect du liber.
g. Tissu cellulaire ou moelle.

Je m'abstiens, à dessein, de donner ici à ces parties des noms que la science n'a pas encore consacrés définitivement, malgré les immenses travaux de Grew, de MM. Treviranus, Link, de Mirbel, etc.

6. Disposition générale des vaisseaux tubuleux ou radiculaires du bois dans les pipéracées.
a, *b*. Points par où ont passé les vaisseaux du système ascendant d'une feuille.
c, *d*. Faisceaux radiculaires ou ligneux. Leurs modes de division.
e, *e'*. Rayons médullaires, ou espaces interfibreux.

Cette figure et la partie analogue de la figure *1* ne sont pas exactement rendues; il faudrait que les lanières supérieures alternassent avec les inférieures, etc.

7. Faisceau mérithallien (fibre médullaire des auteurs); coupe horizontale. Les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, comme dans la figure *5*.
8. La même coupe horizontale, prise dans une autre espèce ligneuse de piper, vue de face. Les lettres représentent les mêmes parties que dans les figures *5*, *7*.

Ces sortes de faisceaux vasculaires du système ascendant ou mérithallien des tiges varient dans chaque groupe végétal, et nous serviront plus tard à distinguer ces groupes les uns des autres. Ils nous ont surtout paru remarquables dans les monocotylédones ligneuses, etc.

Dans beaucoup de genres, les tissus fibreux intérieurs *f* *5*, *7*, *8*, manquent totalement; en sorte que les trachées *e* des mêmes figures circonscrivent la moelle.

9. Arbre brûlé par le soleil.

Tous les arbres de l'allée du Luxembourg qui conduit à l'Observa-

toire, rang de droite (ouest), partie exposée à l'ouest, sont attaqués de cette maladie.

a. Bois mis a nu et mort.
a'. Le même se revivifiant.
b, *b'*. Le même; partie désorganisée, pourrie.
c. Bourrelet formé par des couches nouvelles, ligneuses et corticales.
d. Épiderme ancien exfolié.
e. Bois vivant.

Dans quelques cas, rares dans cet endroit, les deux bourrelets finissent par se réunir; alors des phénomènes très-remarquables ont lieu. Ou le bois mort, ou en partie désorganisé, pénétré de nouveau par des sucs séveux, se revivifie, ou il achève de se désorganiser. Dans ce dernier cas, les produits de la désorganisation sont résorbés; d'où il résulte un vide (crevasse) ou une rénovation ligneuse : ce qui a également lieu pour les gélivures.

10. Coupe horizontale d'un arbre dans sa partie malade.
a. Bois mis à nu et mort.
e. Bois vivant.

11. Tige de *phellandrium aquaticum* disséquée par la macération, et destinée à montrer de quelle manière les cloisons se forment par la déviation vers le centre des vaisseaux radiculaires descendants ou sous-mérithalliens. Elle est vue par sa partie extérieure.
a, *a'*, *a''*. Vaisseaux mérithalliens ou du système ascendant. Le changement de direction des mailles indique le mésophyte. La partie supérieure appartient au pétiole (mérithalle pétiolaire ou moyen); la partie inférieure, à la tigelle ou mérithalle tigellaire inférieur.
b, *b'*, *b''*. Vaisseaux descendants ou radiculaires (sous-mérithalliens) provenant des feuilles supérieures.
c, *c'*, *c''*. Cloisons formées par des tissus radiculaires ou descendants (sous-mérithalliens) dans du tissu cellulaire humide.

12. Fragment de la même tige, vue par la partie intérieure *a a'*, *b b'*

c, comme dans la figure précédente. (Voyez VIII, 4; X 1 à 9.)

PLANCHE XV.

1. Expérience qui sert à démontrer que, dans la décortication partielle et spirale, les nouvelles couches ligneuses et corticales se croisent avec les anciennes.

Elle a été faite sur un jeune saule, du 1^er^ mai 1834 au 10 juillet de la même année.

a. Sommet.

Les tissus divers qui arrivent là se dévient à droite et à gauche pour entrer dans la partie *c*, puis dans la partie *c'*. *c''* montre les tissus ligneux violets mis à nu, plus épais à la base qu'au sommet du tour de spire. On voit clairement que ces tissus radiculaires ou ligneux se croisent obliquement avec les tissus analogues jaunâtres de l'année précédente *b*, *b'*, *b''*, *b'''*, qui sont droits. Il en est de même des nouveaux tissus violets du liber qui se sont formés *e;* ils croisent de la même manière les tissus jaunâtres du liber de l'année précédente *d*, *d'*, mis à nu par la macération, et conséquemment les fibres ou vaisseaux mérithalliens ou du système ascendant de l'écorce, qui se trouvent à la circonférence de cette écorce épaissie. Ce fait est de la plus haute importance.

2, 3, 4, 5, 6. Disposition des vaisseaux ligneux ou radiculaires du broussin 7.

On a passé un cheveu dans le 6, pour prouver qu'à un certain âge ils sont perforés dans toute leur longueur.

7. Broussin de chêne dans lequel on voit, en *a a'*, les circonvolutions formées par les vaisseaux du système descendant, et la base de quelques rameaux tronqués *b*, *b'*, *b''*, *b'''*, qui s'étaient développés en ce point. C'est dans les broussins que les bourgeons adventifs se forment le plus facilement.

8. *a*. Expensions ligneuses qui, dans les pays chauds et humides, se développent à la base des grands arbres.

C'est particulièrement dans les marais maritimes des régions tropicales, où le sol est périodiquement inondé par les eaux de la mer ou

desséché, mais encore imprégné de salure, que ces curieuses racines se produisent. (Voir page 36.) Ne pouvant pénétrer dans un sol qui ne leur convient pas, elles se laminent, pour ainsi dire, afin de prendre à l'air humide ce que le sol ne peut leur donner.

En outre des cloisons verticales, il se forme aussi des expensions horizontales qui les réunissent *b*. Elles sont dues aux mêmes causes.

9. Fragment de racine aérienne, écorcée d'un côté pour prouver que ce n'est bien qu'une racine ordinaire déprimée qui s'accroît plus particulièrement par le bord supérieur. Les causes de ce phénomène sont indiquées page 36; elles seront expliquées dans la seconde partie de ce travail, qui traitera des faits de la physiologie des plantes.
10. Coupe horizontale d'un jeune rameau de peuplier. (Figure forcée à dessein.)

Un mérithalle quelconque de dicotylédone est composé d'un nombre déterminé de faisceaux vasculaires mérithalliens ou du système ascendant. Chacun de ces faisceaux est formé de deux parties très-distinctes, l'une extérieure ou corticale, l'autre intérieure ou ligneuse. On nomme généralement fibres corticales les vaisseaux de la première, canal médullaire ceux de la seconde. Ce canal médullaire contient les trachées. C'est ordinairement entre ces deux parties que s'opère l'accroissement vasculaire subséquent. Cet accroissement est, en apparence du moins, très-irrégulier dans quelques végétaux, très-régulier dans d'autres. Quoique un peu forcé pour la démonstration, l'exemple que je choisis ici peut être vérifié par tout le monde.

Il se forme tous les ans, entre la partie corticale et la partie ligneuse de chaque faisceau vasculaire primitif, une couche intérieure de vaisseaux ligneux, une couche extérieure de vaisseaux corticaux, les premiers situés à l'extérieur du canal médullaire et s'y appliquant, les seconds situés à l'intérieur des fibres corticales, auxquelles ils se fixent également; d'où il résulte, au bout d'un certain nombre d'années, sept par exemple, sept couches concentriques de bois et un égal nombre de couches concentriques de liber. Ces couches de bois et de liber se forment au contact. Dans l'exemple que j'ai choisi, elles ont les mêmes dimensions diamétrales, c'est-à-dire que la dernière couche intérieure corticale a exactement le diamètre de la dernière couche extérieure

ligneuse; d'où il résulte deux cônes, un de bois, un d'écorce, réunis par leur base. Chacune de ces couches de bois et de liber est composée d'un nombre déterminé d'autres petites couches dont j'expliquerai la formation en traitant de la théorie des mérithalles et des verticilles.

a. Épiderme.
b. Liber disposé par couches.
c. Rayon médullaire ou moelle extérieure.
d. Couches ligneuses.
e. Voie du cambium. (C'est le point qui sépare l'écorce du bois.)
f. Canal médullaire.

Le sommet extérieur du cône formé par le liber est ordinairement pointu, entier ou bifurqué dans la coupe transversale d'une tige. Les vaisseaux qui le composent restent vert foncé tant que l'épiderme n'est pas altéré; ils forment des lignes ondulées de haut en bas, en se rapprochant et en s'éloignant alternativement; d'où résulte sous l'épiderme une sorte de réseau à mailles larges à l'extérieur, et de plus en plus étroites vers l'intérieur, remplies d'un cône de tissu cellulaire dont le sommet est au centre et se prolonge dans les couches ligneuses en lames ou rayons médullaires très-déliés.

11. Section, grossie et coloriée, de la figure précédente, dans laquelle on distingue plus nettement l'épiderme; la pulpe ou moelle extérieure rose; le liber brun, divisé par des rayons médullaires et par des zones concentriques; le bois blanc flavescent, offrant les mêmes divisions; le canal médullaire, vert; et la moelle, rose.
Comme la précédente, cette figure est exagérée.

PLANCHE XVI.

1. Exemple de bourrelet formé par une ligature.

Dans les diverses expériences que j'ai faites, les vaisseaux radiculaires ont fini par briser les liens ou sont passés dessus.

a. Bourrelet couvert d'exfoliations corticales.
b. Partie supérieure du tronc sensiblement accrue.

c. Point où la ligature a été faite.
d. Base du tronc plus étroite que le sommet *b*.

2. La même tige écorcée.
a, *b*, *c*, *d*. Comme dans la figure précédente.

3. Vaisseau entier, allant du sommet à la base, dans lequel on a pu faire passer un cheveu.

4. Coupe verticale d'une partie de la tige écorcée.
a, *b*, *c*, *d*. Comme dans les figures précédentes.
e. Bois nouveau, couche large.
f. Bois nouveau, couche étroite.
g. Bois ancien. Couche d'égale épaisseur dans toute sa longueur.
h. Premiers vaisseaux radiculaires arrêtés par la ligature.
i. Seconds vaisseaux; développement irrégulier.
k. Derniers vaisseaux arrêtés par la ligature. Ceux qui sont en *a*, *b*, *c*, *d*, l'ont franchie.

Nouveau moyen de tailler les arbres afin d'éviter toutes les maladies qui résultent ordinairement de cette opération d'agriculture.

5. *a*. Rameau à couper. Manière de fendre et d'enlever l'écorce.

Les lignes noires indiquent les différentes manières d'enlever l'écorce.

6. Rameau coupé, écorce relevée.
b. Vaisseaux perpendiculaires du rameau coupé au ras du tronc.
c. Lambeaux de l'écorce.
d. Vaisseaux radiculaires ou ligneux qui contournaient le rameau.
e. Canal médullaire.

7. La même figure. Écorce appliquée et maintenue par des liens.

8. La même figure six mois après, écorce et tissu cellulaire enlevés par la macération.
f. Les vaisseaux radiculaires de l'année sont passés à la surface des vaisseaux perpendiculaires du rameau comme sur toutes les autres parties. Dans ces expériences, qui ont été tentées de beaucoup de manières, et qui toutes ont complétement réussi, on peut dégager l'écorce d'une partie de son enve

loppe extérieure morte. On peut aussi l'enlever entièrement et la remplacer par une égale portion prise à un arbre congénère. Ces faits sont décrits dans un travail spécial. Je n'en parle ici que pour montrer la marche que suivent les tissus radiculaires.

9 à 14. Direction des vaisseaux tubuleux sur les arbres écorcés. Ces expériences ont pour but de montrer de quelle manière les plaies des arbres se cicatrisent.

9. On a enlevé une bande longitudinale d'écorce. Les vaisseaux radiculaires imprégnés de cambium, arrivés au sommet de la plaie qu'ils ont un peu débordée, se sont dirigés à droite et à gauche, et sont descendus le long des bords latéraux en les pressant aussi dans cette direction *b*. Ils ont également pressé en bas *c'*. *a* tissus ligneux anciens à nu.

10. Expérience analogue. Tige dépouillée par la macération.
a. Tissus ligneux anciens mis à nu par la soustraction de l'écorce.
b. Vaisseaux radiculaires ou ligneux nouveaux.
c. Arrivés en ce point ces vaisseaux se dévient à droite et à gauche, et descendent verticalement en formant des sinuosités. Arrivés à la base *c'* ils vont reprendre leur position perpendiculaire primitive.

11. Expérience analogue.
a. Vaisseaux ligneux anciens dépouillés d'écorce.
b. Couches ligneuses nouvelles disposées par zones et presque réunies.
c, *c'*. Comme dans les figures précédentes.

12-13. Les mêmes expériences.

Les lettres indiquent les mêmes phénomènes modifiés.

14. Autre expérience.

Les lettres indiquent les mêmes phénomèns modifiés.

d. Indique l'apparition d'une matière ligneuse au centre de la plaie. Elle était formée par un amas de bourgeons rudimentaires latents. Un d'eux s'est développé, mais les chaleurs de l'été

l'ont fait mourir. J'ai disséqué, en 1834, la partie ligneuse des deux systèmes.

15. Disposition des vaisseaux radiculaires à la base de la plaie de la figure 13 disséquée.

16. Jeune tige de châtaignier à laquelle on a enlevé une couche circulaire d'écorce. Six mois après elle offrait les caractères suivants ;

a. Écorce. *b* Couches ligneuses nouvelles.
c. Base de l'écorce ancienne de la partie supérieure.
d. Écorce nouvelle formée sur le bourrelet.
d'. Bois nouveau du bourrelet.
e. Base du bois nouvellement formé, bord inférieur rentrant.
f. Sommet de l'écorce ancienne de la partie inférieure. Il s'y est formé un léger bourrelet celluleux, dans lequel on distinguait facilement des bourgeons rudimentaires, qui avaient déjà formé un épaississement notable de cette partie inférieure du tronc *h*.
i. Légère couche ligneuse annuelle, formée ou avant la décortication ou par les bourgeons rudimentaires.
k. Lambeau d'écorce.

17. Liane du Brésil (Bahia). Elle offre un exemple très-remarquable d'excentricité. Chaque couche ligneuse est séparée, non par du tissu cellulaire, comme dans les autres dicotylédones, mais par des couches très-épaisses d'une sorte de liber.

18. Développement des tissus radiculaires ou ligneux. On a coupé au mois de mai une jeune tige de tilleul *a* au-dessus d'un bourgeon *b*. Quinze jours après, ce bourgeon avait formé un rameau dont les prolongements radiculaires *c*, *c'*, tous distincts, enveloppaient, conjointement avec du tissu cellulaire naissant, toute la base de la tige. Ces vaisseaux radiculaires remontent quelquefois très-haut au-dessus du bourgeon pour redescendre ensuite *d*.

19. Jeune ormeau dont on a enlevé, à la fin d'avril, une couronne d'écorce, et dont ensuite on a couvert avec soin la plaie.

Au 1er juillet, la tige, étant écorcée supérieurement et inférieurement, offrait les caractères suivants :

a. Bourrelet ligneux de l'année.
b. Le bois de l'année précédente, desséché.
c. Un nombre considérable de jeunes rameaux dont les tissus radiculaires ont aussi notablement augmenté le diamètre de cette partie de la tige. Le bourgeonnement a lieu à ce bord inférieur de la cicatrice, exactement comme dans les figures *6*, *7*, *8* de la planche XIII.
d. Cette branche ancienne s'étant développée avec vigueur a envoyé quelques-uns de ses tissus descendants à la surface de ceux des rameaux grêles et faibles qui se sont formés au bord inférieur de la plaie *c*.

La partie inférieure *f*, comme la partie supérieure *e* de cette tige, a produit en même temps qu'une nouvelle couche de bois, extérieure au bois ancien, une couche de liber *g* intérieure au liber des années précédentes.

20. Jeune châtaignier auquel on a enlevé une bande circulaire d'écorce des cinq sixièmes de sa circonférence, et de six lignes de hauteur. Il est représenté ici entièrement dépouillé d'écorce.

Tous les vaisseaux radiculaires *a*, arrivés vers le bord supérieur de la plaie *e*, ne trouvant plus les voies qui leur sont naturellement préparées, se dirigent de droite et de gauche vers la bande d'écorce vivante conservée sur la sixième partie de la circonférence de la tige *b*, se pressent dans cet étroit passage, et gagnent ainsi la partie inférieure *f*. Arrivés là, ils s'éparpillent de nouveau, et chaque vaisseau va en quelque sorte reprendre dans cette partie inférieure de la tige, la position qu'il occupait dans la supérieure.

Dans ce cas, le diamètre des deux parties n'a pas sensiblement changé.

a. Partie supérieure.
b. Partie étroite proéminente où sont passés tous les vaisseaux radiculaires ou ligneux.

c. Partie inférieure.

d. Vaisseaux ligneux anciens, dénudés.

21. Jeune frêne auquel on a enlevé, le 1^er^ mai 1834, un anneau circulaire d'écorce de huit lignes de hauteur.

a. Partie supérieure.

b. Partie inférieure.

c. Bourrelet supérieur.

d. Bourrelet inférieur formé par une multitude de bourgeons rudimentaires. Ils ont produit un léger accroissement en diamètre *b*.

e. Bois ancien, desséché.

f. Deux jeunes rameaux opposés, de l'année précédente, ont envoyé, sur la base de la tige, leurs vaisseaux radiculaires. Ces vaisseaux se joignent au centre.

22, 23. Greffe d'érable, disséquée par la macération, vue de face et de profil.

On voit distinctement les vaisseaux radiculaires de la greffe *a* descendre sur le sujet *b*.

La force de végétation étant moins grande dans la greffe que dans le sujet, les deux rameaux de celui-ci ont fait passer leurs vaisseaux radiculaires à la surface de ceux de la greffe *d*. *d* de la figure *19* est un cas tout à fait semblable.

On peut très-facilement, par ce moyen, faire passer alternativement les tissus radiculaires de la greffe sur ceux du sujet *et vice versa*, et avoir ainsi à volonté des tissus distincts de l'un et de l'autre.

En activant ou en retardant la végétation des bourgeons ou des rameaux superposés d'une même tige, on obtient les mêmes résultats. (*18, 19; 21, 22, 23;* XIII, *5, 6, 7, 8;* V, *6, 8, 14.*).

PLANCHE XVII.

1. Arbre du parc de Saint-Cloud (*æsculus* [1]). Exemple remarquable de décortication circulaire, phénomène décrit page 21.

[1] Il est actuellement dans la collection du Muséum, qui le doit à l'obligeance de M. Mathieu, chef du Trocadéro.

a. Partie supérieure du tronc.
b. Base du tronc.
c. Tissus ligneux anciens mis à nu et blanchis par le temps.
d, *d'*. Bourrelets ligneux.
e. Accroissement de la partie inférieure du tronc par les bourgeons *i*, *i'* qui s'y sont formés.
g', *g''*. Couche ligneuse ancienne, morte et en partie séparée du tronc.
i, *i*. Rameaux qui ont produit l'accroissement en diamètre de la partie *b*.

2. Coupe du même arbre.
a. Partie supérieure dans laquelle on distingue les couches ligneuses *g*, *g'* et celles qui ont produit le bourrelet *d*, *d'*.
c. Le bois ancien.
b. La base accrue par les bourgeons *i*, *i'*.

3, 4. Autres marronniers de Saint-Cloud, écorcés circulairement. 3, côté nord; 4, côté sud.

3. Côté nord.
b, *c*, *d*, *e*. Comme dans les figures précédentes.
g. Formation d'une nouvelle couche étroite.
f, *f'*. Crevasses profondes produites par la désorganisation du bois ancien.
h. Autre crevasse profonde.

4. L'autre côté (sud).
a, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *f'*, *f''*, *h*, *h'*. Comme dans la figure précédente.

5, 6. Autre arbre de la même espèce sur les côtés nord 5 et sud 6.

Les lettres comme dans les figures précédentes.

7. Peuplier écorcé circulairement.
a à *e*. Comme dans les figures précédentes.
i. Exfoliation de l'écorce ancienne.
k. Bourgeon adventif développé dans le tissu cellulaire du bord inférieur de la plaie, comme 6, 7, 8, XIII.
l, *m*, *n*. Bourgeons adventifs. Ceux-ci percent l'écorce.

o, *o'*. Bourgeons adventifs rudimentaires du bord inférieur de la plaie. Ils se sont développés plus tard.

p, *q*. Bord inférieur de la plaie, épaissi sous l'influence des bourgeons adventifs.

k, *l*, *m*, *n*, *o*, *o'*. Bourgeons qui sont encore à l'état rudimentaire.

8. Figure idéale d'arbre tronqué, chargé de bourgeons sur le tronc et sur les racines.

a, *b*. Bourgeons formés dans le tissu cellulaire de la circonférence entre le bois et l'écorce.

c, *c'*. Végétation cellulaire qui précède la formation des bourgeons.

d, *e*. Bourgeons de la circonférence. Ils percent l'écorce.

f, *g*, *h*. Bourgeons formés sur les racines près de la surface du sol.

k. Représente le sol.

9. Tilleul de l'allée Maintenon, à Fontainebleau, écorcé circulairement. Il est situé près de la grille du château. M. Bouchet l'observe toujours dans le même état, depuis quatorze ans (1834).

Les lettres *a* à *f* comme dans les figures 3, 4, 5, 6.

10. Marronnier du Luxembourg dans le même état. Je l'observe depuis une dizaine d'années[1].

Les lettres *a* à *e* comme dans les figures précédentes.

11. *Bignonia catalpa* du Jardin des plantes. Une allée toute formée de ces arbres présente les phénomènes physiologiques les plus remarquables. Dans celui-ci, les trois quarts de l'arbre sont morts; il ne reste plus qu'une bande vivante encore fixée sur douze ou quinze pieds de longueur du vieux tronc mort.

a. Partie vivante.

b. Partie morte.

c, *c'*. Bases de rameaux anciens.

d. Sommet du tronc mort.

12. Coupe idéale de cet arbre disséqué.

[1] Il fait aujourd'hui partie de la collection du Muséum, qui le doit à M. Lévêque, treillageur des châteaux de la couronne.

a. Partie vivante.
b. Partie morte.
c. Centre encore vivant.

13. Exemple de la déviation des vaisseaux tubuleux ou radiculaires, par l'action d'une forte ligature en spirale. Dissection.

Si au lieu de faire une ligature on enlève une bande spirale d'écorce, un phénomène tout à fait semblable a lieu. Les vaisseaux descendants suivent les contours de l'écorce restante, comme ici ils suivent les intervalles du lien.

Dans l'un et dans l'autre cas, il y a formation de nouvelles couches de bois et de liber qui se croisent presque à angle droit avec les couches anciennes, droites, de l'une et de l'autre de ces parties, XV, 1.

a. Partie du tronc immédiatement située au-dessus de la ligature, avec son écorce.
b, *b'*, *b''*. Nouvelles couches ligneuses, formant une bande spirale autour des tissus ligneux de l'année précédente.
c, *c'*, *c''*. Tissus ligneux anciens, droits.

14. Sureau noir (*sambucus nigra*), ayant une bande vivante autour d'un tronc mort. Dissection.
a, *a' a''*. Bois mort.
b. Rameaux d'où partent les tissus radiculaires.
c, *c'*. Bois vivant, formant une fois et demie le tour du tronc mort[1].

15. Sorte de broussin disséqué. Les vaisseaux radiculaires du rameau vivant envahissent progressivement le vieux bois mort qui ne peut rien produire.
a. Tige vivante provenant d'un bourgeon adventif.
b. Rameau provenant d'un bourgeon adventif.
c. Vaisseaux spiraux d'une feuille qui existait là.
d, *d'*, *d''*. Vaisseaux radiculaires enveloppant tout le tronc, en formant de nombreuses sinuosités.
e, *f*. Bords prêts à se réunir.
g, *g'*, *g''*. Bois mort en décomposition.

[1] Cet arbre a été arraché. Un tronçon en a été déposé aux galeries de botanique.

16. Greffe en fente, dans laquelle les vaisseaux radiculaires sont très-distincts de ceux du sujet.

a. Bois du sujet.

b, *b'*. Bois de la greffe.

c. Écorce. Elle s'est accrue d'une nouvelle couche de liber, continue avec le liber de la greffe.

Les tissus radiculaires de la greffe, amoncelés en *b*, *b'*, ne se distinguent presque plus en *e*.

f. Vide entre le bois ancien et le nouveau. Il se prolonge sur les parties latérales jusqu'en *c*.

Voir la planche XVI, 22, 23.

Les figures 5, 6, 7, 8, pl. XIII, doivent aussi être considérées comme exemples de greffes.

Dans un travail spécial sur la greffe, je démontrerai que tous les bourgeons, quelle que soit leur nature, ne produisent que des greffes.

17. Bouture de sureau (*sambucus*).

a. Moelle.

b. Couche ligneuse ancienne.

c. Couche ligneuse extérieure nouvelle, produite par les prolongements radiculaires des bourgeons.

d. Écorce épaissie par une nouvelle couche intérieure de liber.

e. Fissure produite dans l'épiderme et l'écorce par l'augmentation du diamètre de la partie intérieure de l'écorce et de la partie extérieure du bois.

f, *f'*. Jeunes rameaux. Ils ont été coupés.

g, *g'*, *g''*. Principales racines produites par les bourgeons.

h. Bois ancien mis à nu par la décomposition de l'écorce de cette partie.

i. Couche épaisse de bois nouveau.

k. Moelle de la partie inférieure de la bouture encore en partie vivante.

PLANCHE XVIII.

Lianes. Coupes horizontales.

Elles représentent les principales anomalies observées dans mes voyages.

1. *Bauhinia* du Brésil. Fragment de grandeur naturelle. Les zones ligneuses sont séparées par des tissus analogues à du liber.
2. Le même. Forme quadrilatère du canal médullaire. Moelle rouge.
3. La coupe entière très-réduite, pour montrer l'excentricité des couches ou zones, et en *a*, le point qui indique les dimensions relatives de la partie figurée 1.

4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10. Tiges de diverses espèces de bignoniacées, remarquables surtout par la disposition cruciée de leurs couches ligneuses. Le *bignonia capreolata*, XIV, 4, généralement cultivé en Europe, montre au plus haut degré ces caractères que chacun peut étudier.

L'Amérique équinoxiale est très-riche en espèces qui produisent ces formes bizarres. Toutes celles-ci proviennent du Brésil.

Le dernier voyage que je viens de faire sur *la Bonite* m'en a fait connaître plusieurs autres espèces très-remarquables. Les bords du Guayaquil surtout en sont fort riches. Là s'opère un phénomène que je n'ai jamais rencontré sur les terres du Brésil. Les bignoniacées de l'équateur ont, dans leur première jeunesse, quatre divisions, huit un peu plus tard, puis seize, et probablement trente-deux, les divisions suivant régulièrement cette progression mathématique. Les tiges anciennes du *bignonia capreolata* offrent, jusqu'à un certain point, des divisions analogues, mais moins régulières.

J'ai dû naturellement chercher si ces formes pouvaient servir à caractériser la famille, les groupes, les genres et les espèces, ainsi que tout me portait à le penser. Les résultats ont été négatifs ou douteux pour beaucoup d'espèces, mais positifs dans presque toutes les espèces à feuilles conjuguées, et surtout dans les *bignonia capreolata*, *unguis*, *lactiflora*, *etc.*

Les tiges 12 et 21 proviennent de mon dernier voyage.

Dans la partie organogénique de ce travail, je donnerai quelques anatomies de jeunes rameaux de ces plantes, anatomies qui, j'ose l'espérer, expliqueront d'elles-mêmes toutes ces formes anomales et les causes qui les produisent.

11. Malpighiacée (*stigmatophyllon acuminatum*) du Brésil. Cette

liane offre cela de particulier, qu'avec un canal médullaire rayonné, comme dans les autres dicotylédones, elle a ses tissus ligneux épars comme dans les monocotylédones. Ce mode d'organisation n'est pas propre seulement à cette espèce; il se retrouve dans plusieurs autres plantes du Brésil, des Philippines et de Malacca. Le fragment grossi donne une assez bonne idée de cette organisation.

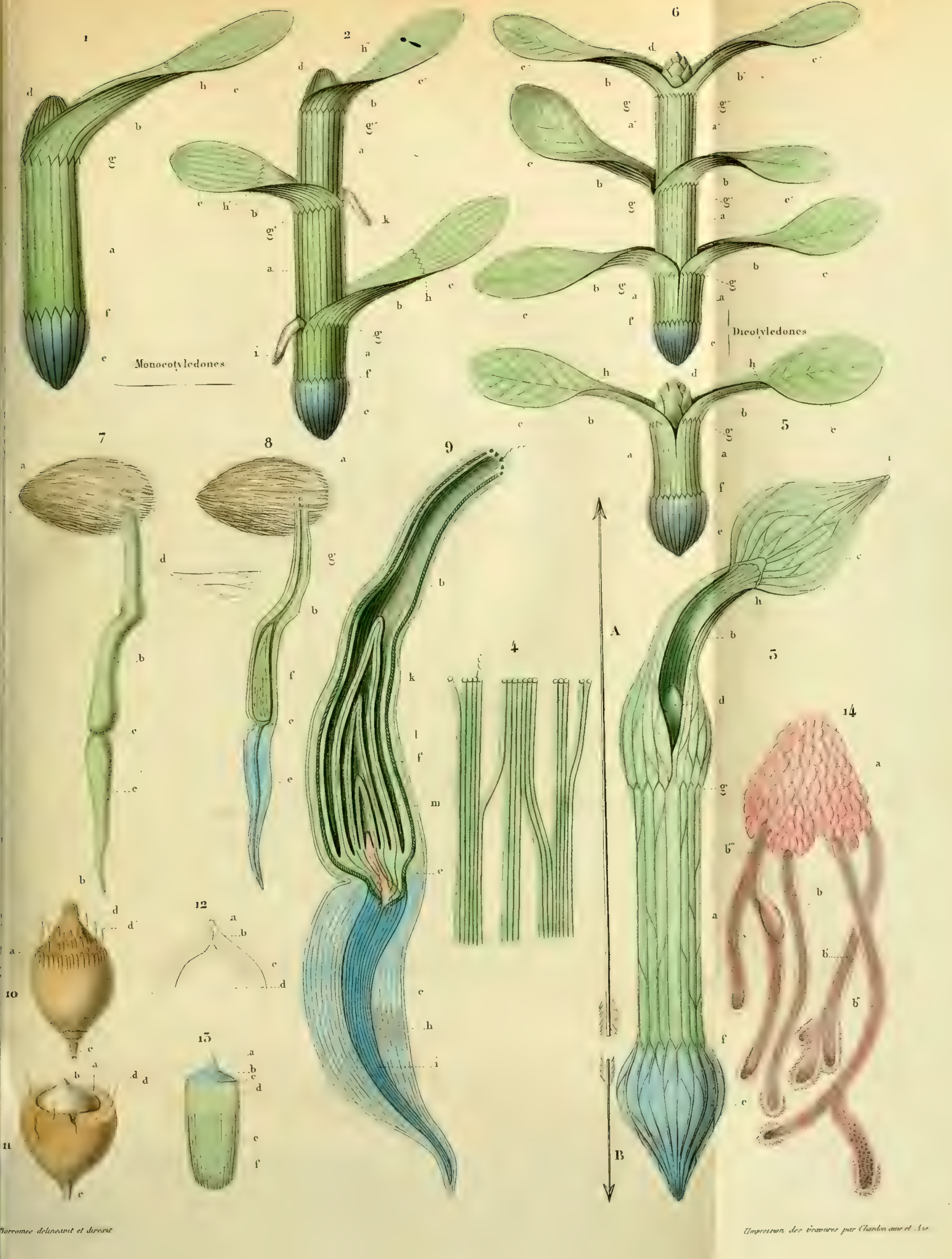
12. Tige (liane) de menispermée ou de gnétacée. Dans cette tige, comme dans la suivante, chaque rayon ligneux est terminé extérieurement par une couche de tissus analogues à ceux du liber.

Cette liane est des Philippines et des terres de Malacca.

13. Menispermée du Brésil. Organisation analogue à celle du n° 12.

14 à 21, et 1, 2, 3, 4, XIII. Lianes de la famille des sapindacées. Toutes ces plantes, originaires du Brésil, offrent constamment les mêmes caractères spécifiques. Elles ont un canal médullaire dans le faisceau central, et, dans les autres, des centres médullaires situés, selon les espèces, tantôt au milieu, tantôt sur les bords, mais sans trachées. Les figures au trait ajoutées aux 16, 17, 18 et 19, sont destinées à montrer les dimensions de ces tiges et les modifications qui s'opèrent dans la disposition de leurs faisceaux vasculaires ou ligneux.

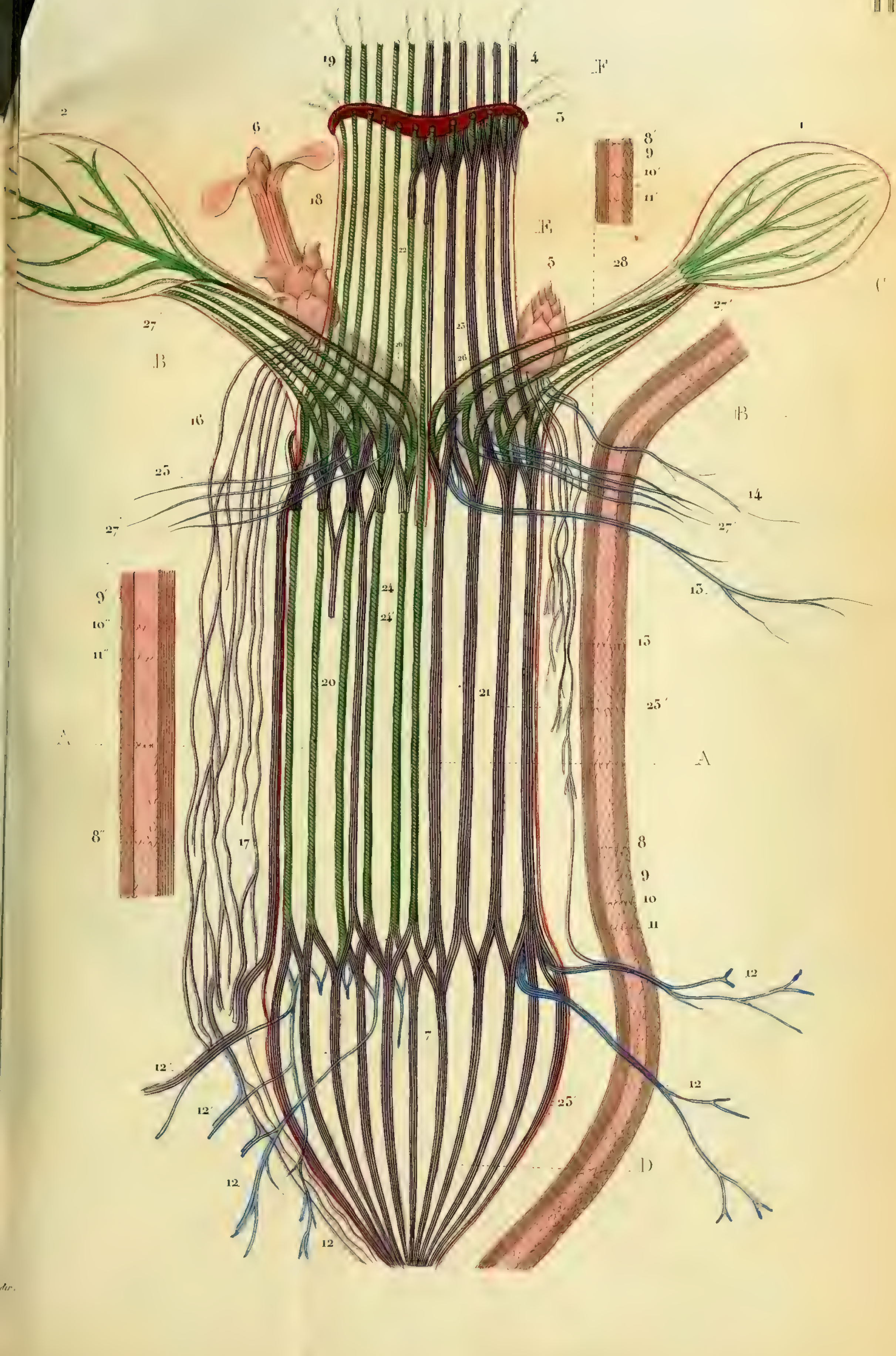
I

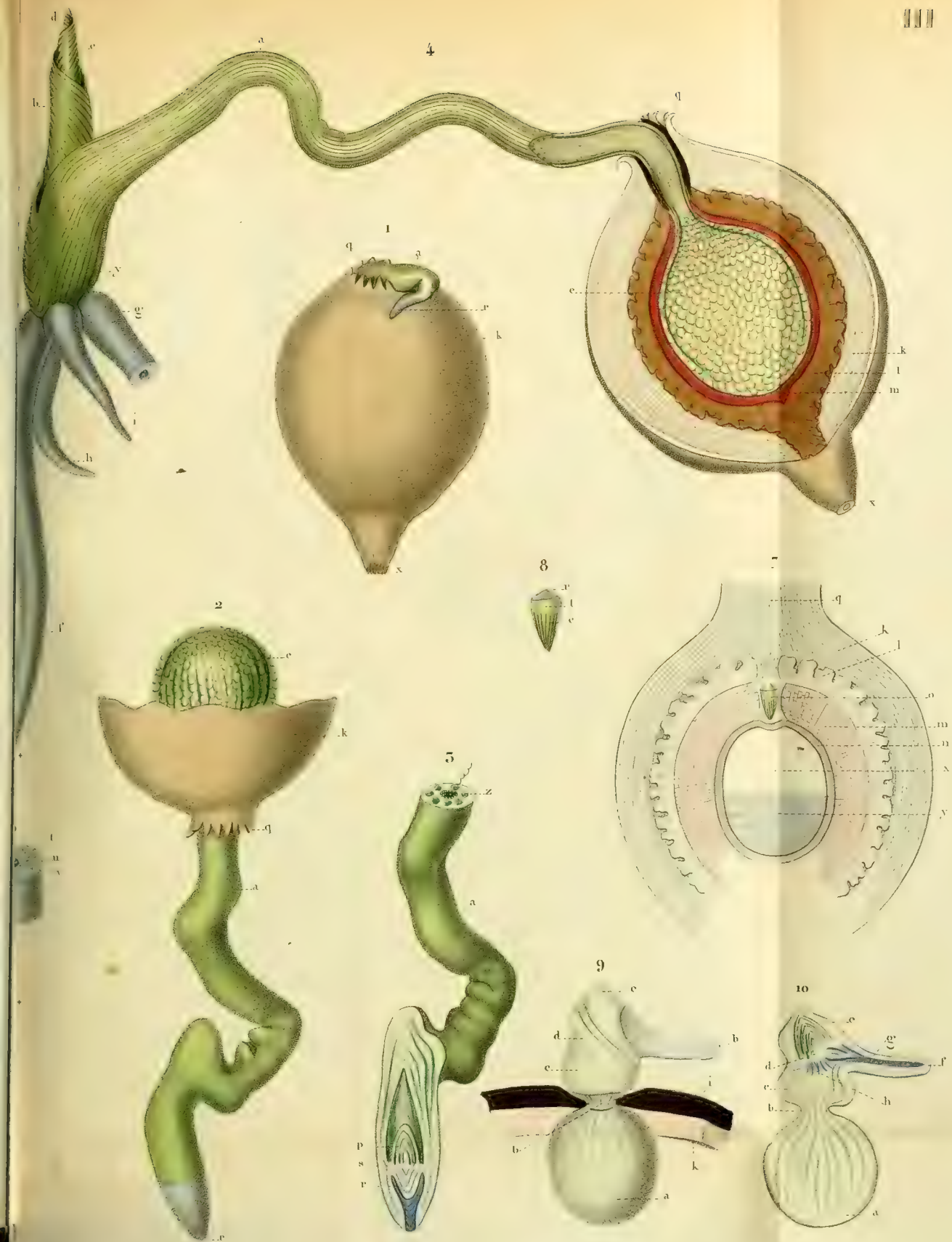


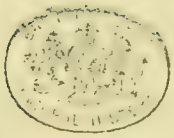
Borromee delineavit et direxit

Impression des Gravures par Chardon aîné et Aze

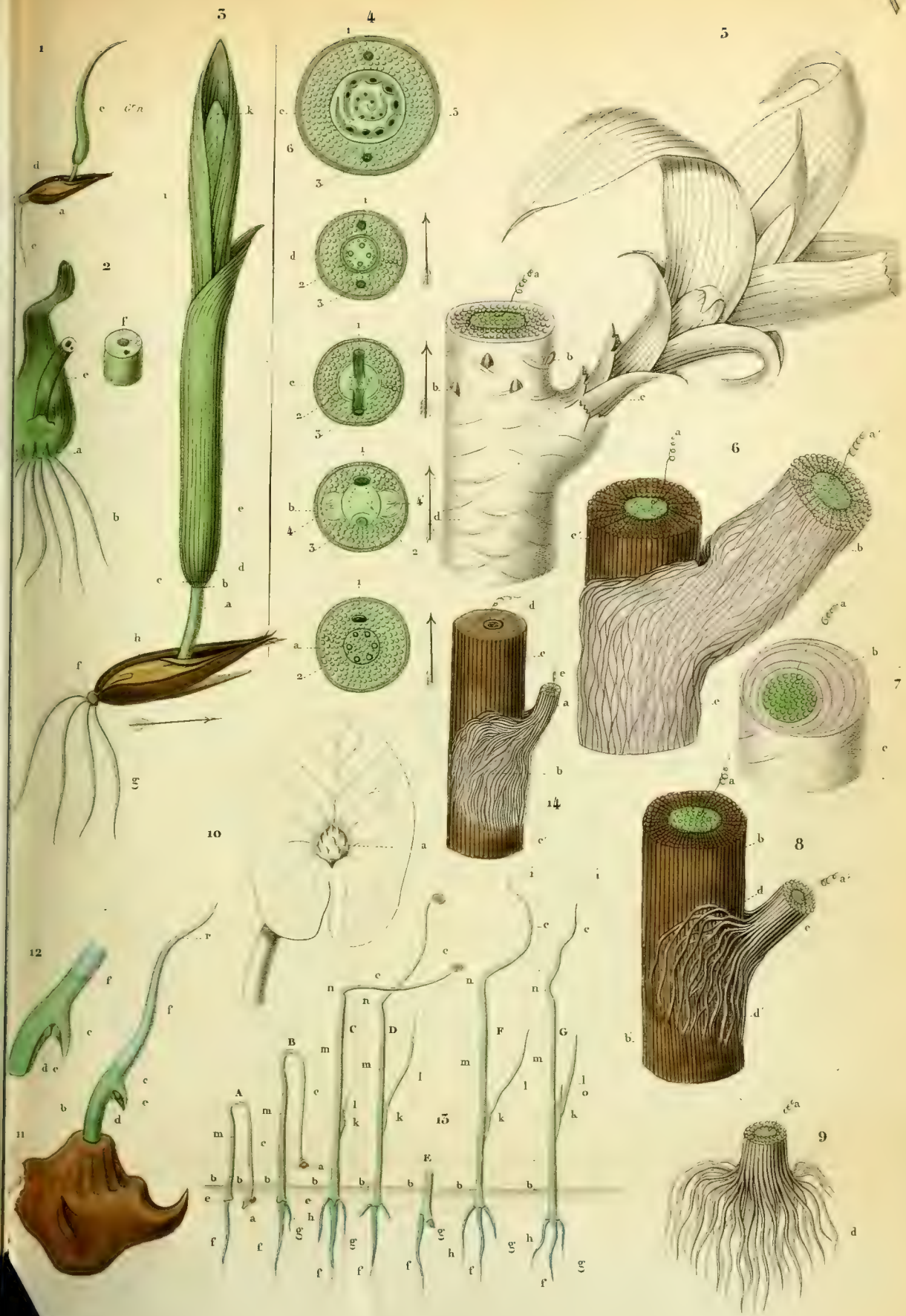
II


19
4
F
2
6
3
1
8′
9
10′
11′
18
E
5
28
C
27
27′
B
B
16
25
14
27′
27
13.
9′
24
10″
24′
11″
20
21
15
25′
A
A
8″
17
8
9
10
11
12
7
12′
12′
12
25′
12
D
12
12

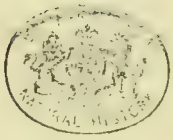

4
1
2
3
7
8
9
10

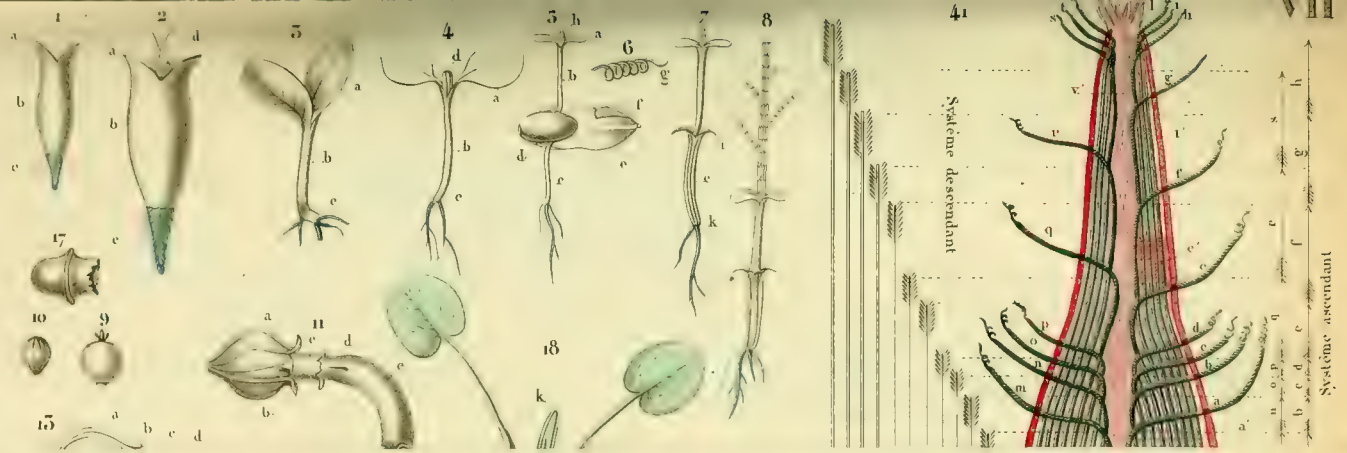


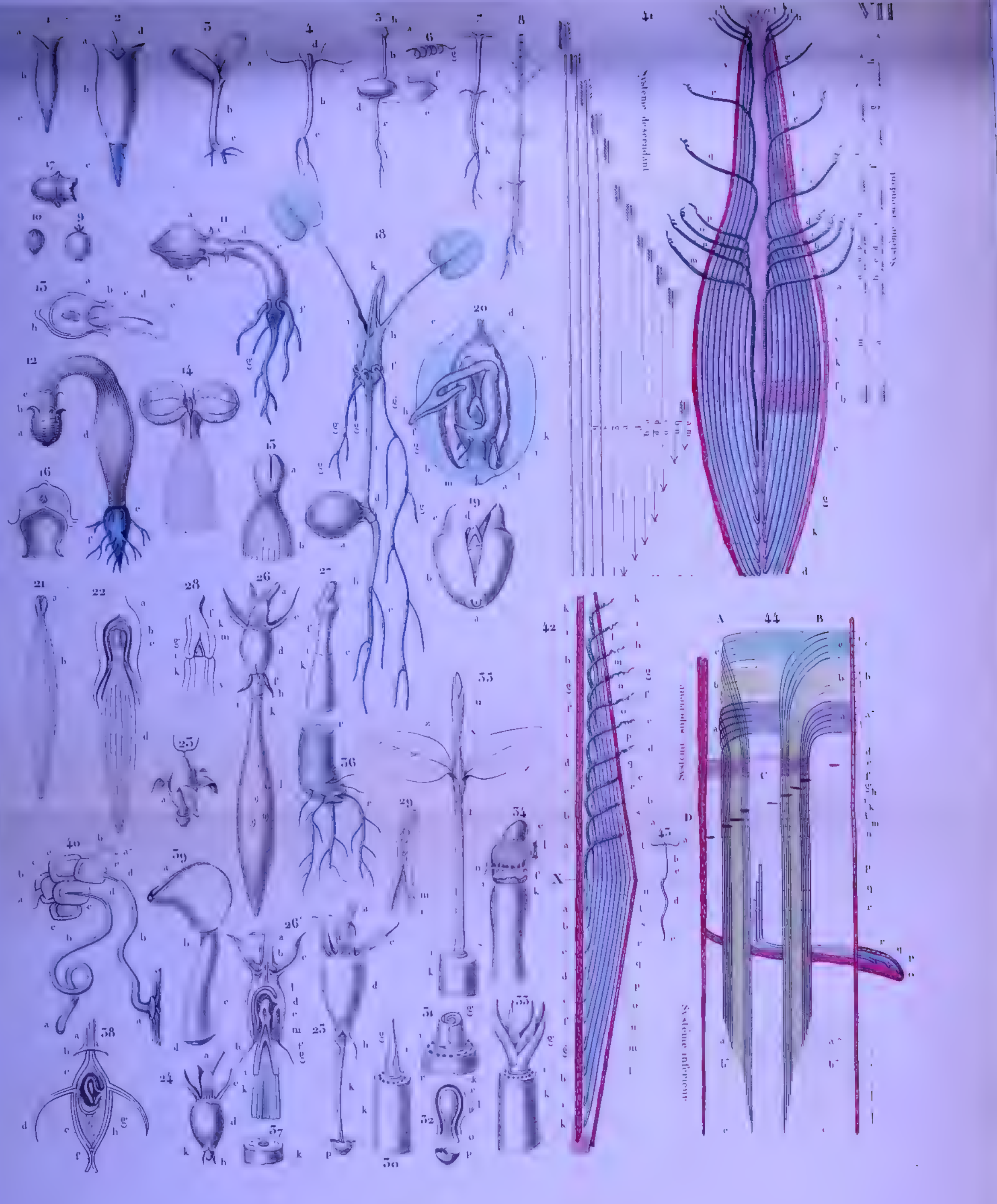
1
2
2'
3
3'
3''
4
4'
5
5'
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
A
B
C
D
E
F
G

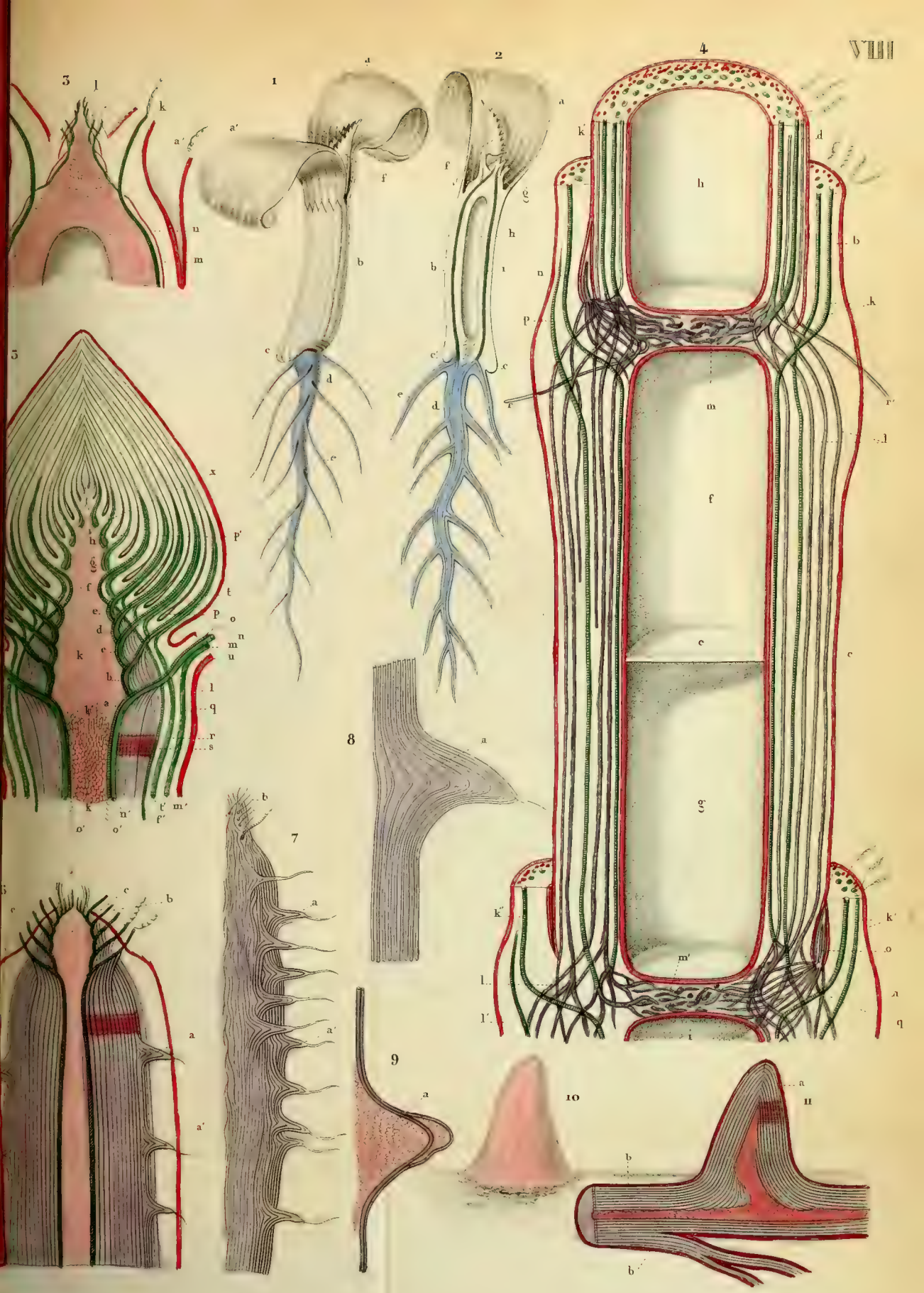
Borromee del et dir

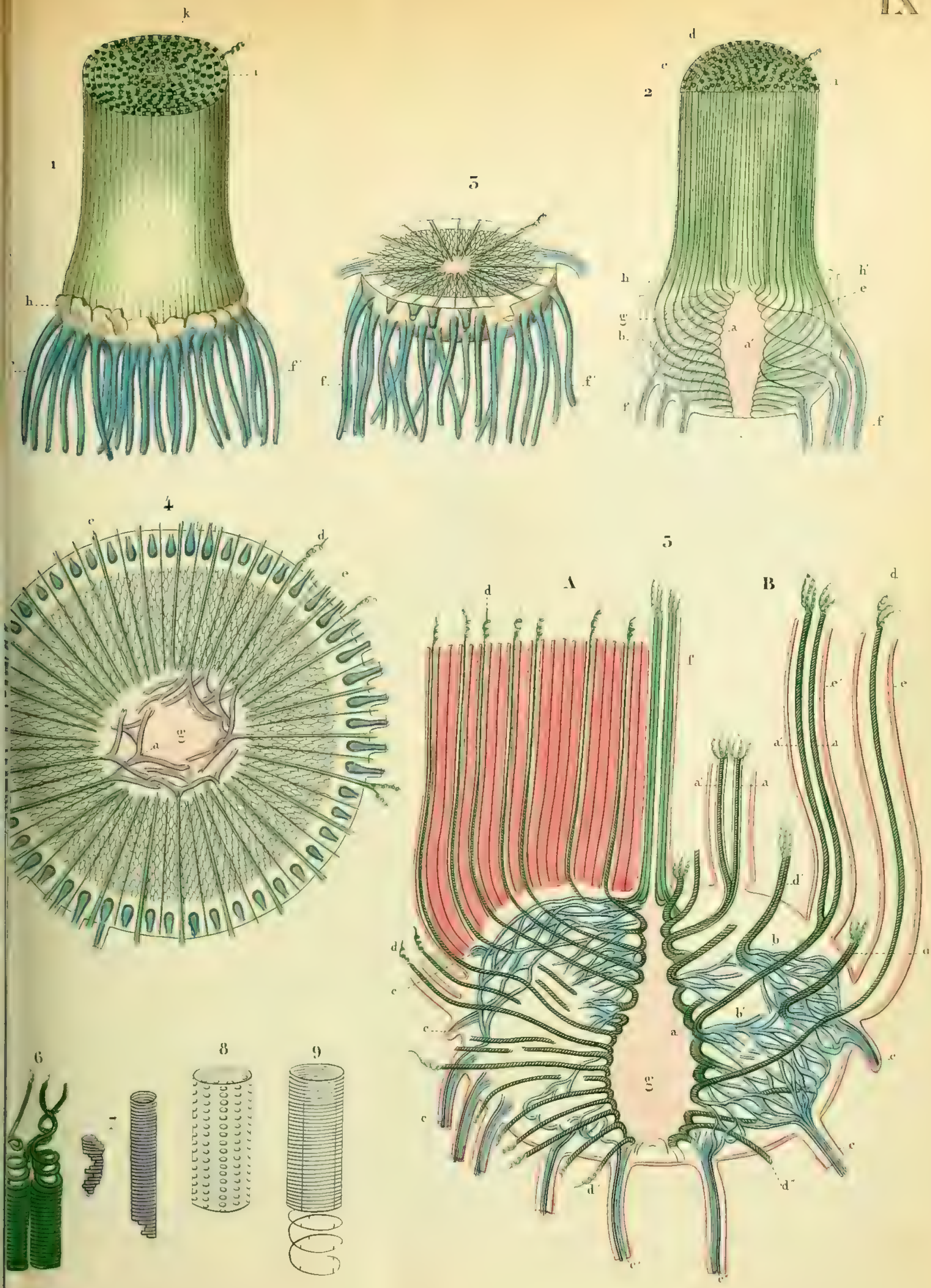



Système descendant
Système ascendant



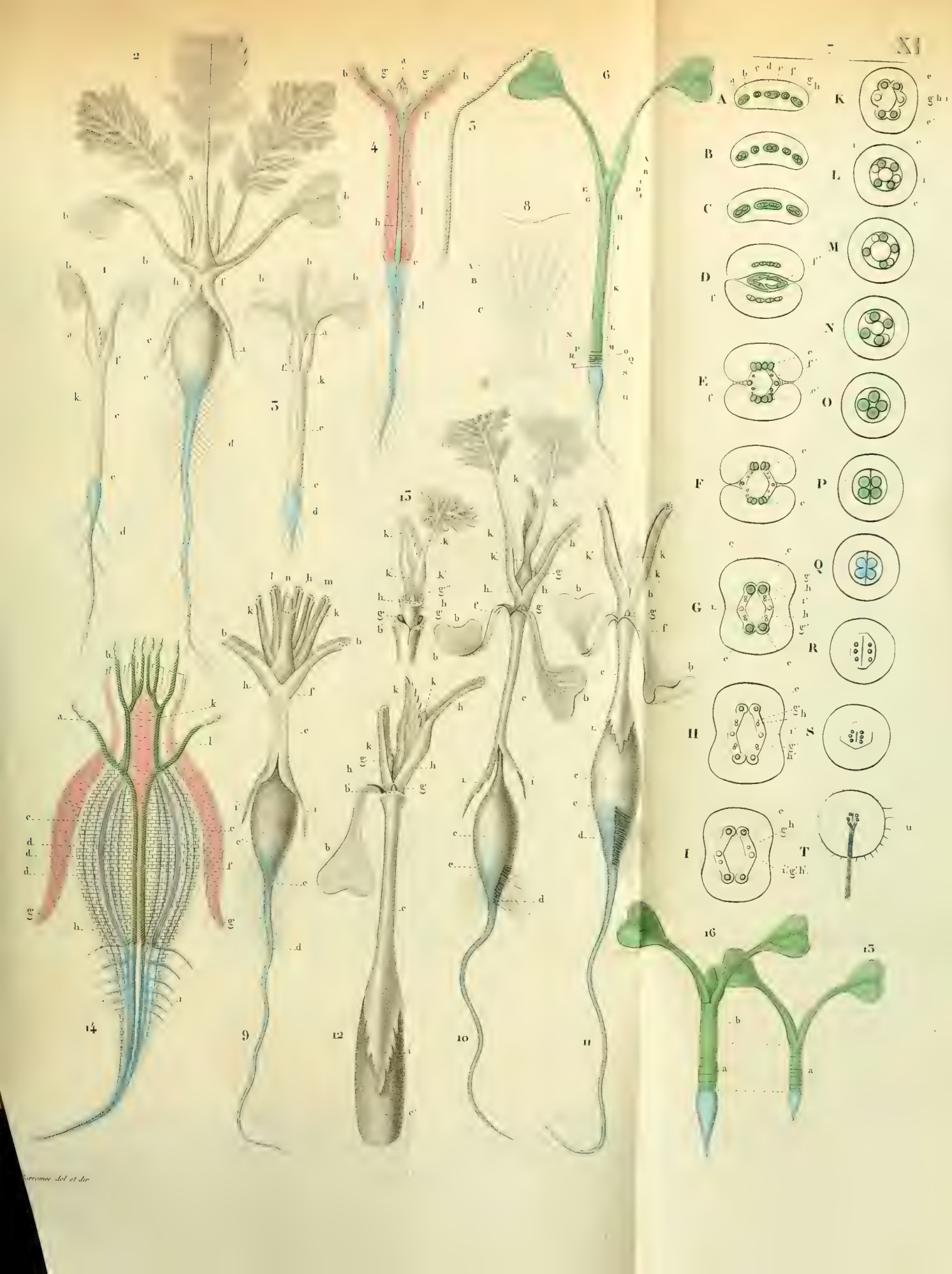
Dermince del. et dir.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11


1
2
3
4
5
A
B
6
8
9

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

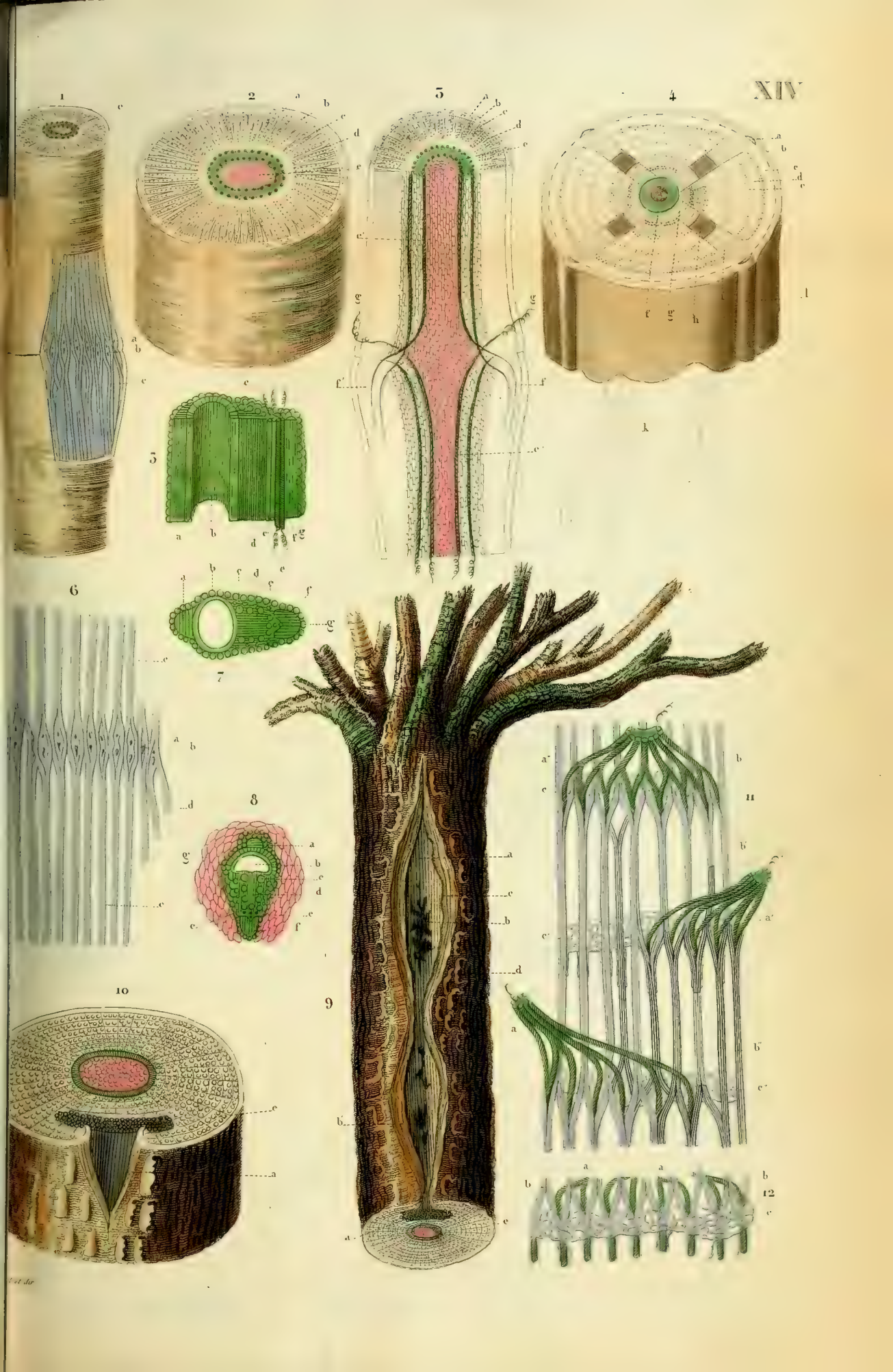
NATURAL HISTORY


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
L
M
N
O
P
Q
R
S
T

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

1
6
8
2
3
4
7
5
10
11
12
9

NATURAL HISTORY

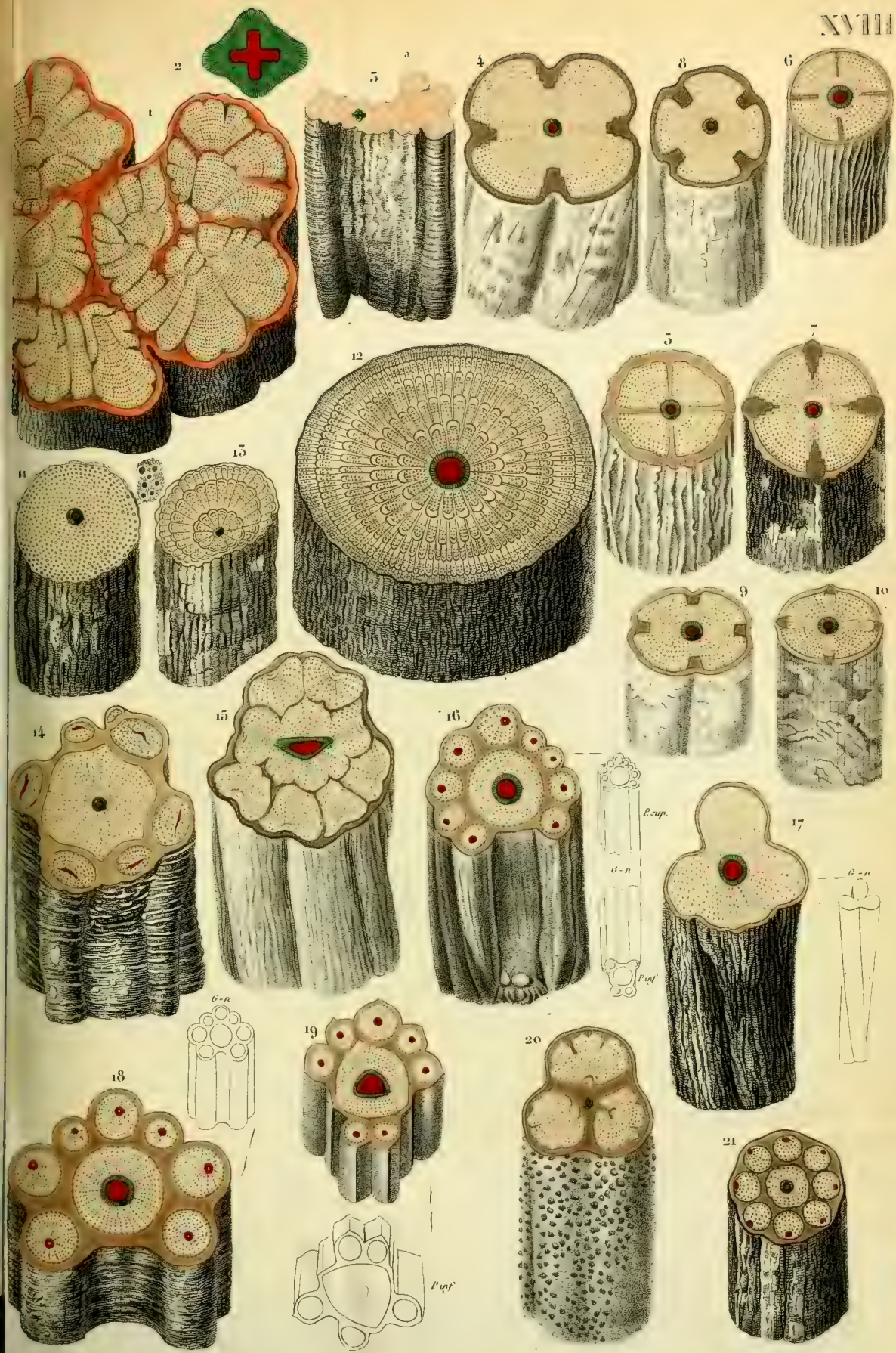

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

.del et dir.

1
2
3
4
5
6
7
8
10
11
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

BRITISH MUSEUM NATURAL HISTORY

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
F.sup.
G-n
F.inf.

NATURAL HISTORY

distance a de l'origine; de sorte que $a + x$, y, z, seront les coordonnées du point de la corde qui, dans l'état naturel, avait pour coordonnées a, o, o.

Soient X, Y, Z, les composantes des forces appliquées aux différents points de la corde, et rapportées à l'unité de masse; et et l la longueur AB.

Les équations générales des mouvements infiniment petits de tous ses points seront, comme on peut le voir dans la Mécanique de M. Poisson.

$$\text{(a)} \qquad \frac{d^2x}{dt^2} = X + \frac{1}{\delta\varepsilon}\frac{d^2x}{da^2}, \qquad \frac{d^2y}{dt^2} = Y + \frac{\tau}{\varepsilon}\frac{d^2y}{da^2},$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = Z + \frac{\tau}{\varepsilon}\frac{d^2z}{da^2};$$

les équations d'équilibre seront

$$\text{(b)} \qquad X + \frac{1}{\delta\varepsilon}\frac{d^2x}{da^2} = o, \qquad Y + \frac{\tau}{\varepsilon}\frac{d^2y}{da^2} = o,$$

$$Z + \frac{\tau}{\varepsilon}\frac{d^2z}{da^2} = o;$$

et l'on aura, dans l'un et l'autre cas, tous les théorèmes que j'ai démontrés dans mon Mémoire sur les vibrations d'un système de points matériels. (Voir le Journal de l'École polytechnique, XXIII^e cahier.)

La question que nous nous proposons en ce moment étant celle de l'équilibre de la corde, consistera dans l'intégration des trois équations (b), qui n'offrira aucune difficulté, puisque X, Y, Z, sont des fonctions connues de a, et que les variables x, y, z, sont séparées.

[2] Cette dernière circonstance montre qu'il n'y aura déplacement, dans le sens d'un des axes, que si les forces extérieures ont une composante dans ce même sens, et que ce déplacement ne dépend que de la composante correspondante.

Supposons, par exemple, que toutes les forces soient parallèles à l'axe des y, on aura

$$X = o, \qquad Y = \varphi(a), \qquad Z = o,$$

d'où l'on tire

$$x = \alpha a + b, \qquad z = \alpha' a + b',$$

et comme on doit avoir $x = 0$, $z = 0$, pour $a = 0$ et pour $a = l$, on en conclura

$$\alpha = 0, \quad b = 0, \qquad \alpha' = 0, \quad b' = 0,$$

d'où, enfin,

$$x = 0, \qquad z = 0.$$

Ce qui fait voir que les points ne se déplaceront que dans le sens des y.

Pour obtenir ces déplacements, on intégrera l'équation

$$\varphi(a) + \frac{\tau}{\varepsilon}\frac{d^2y}{da^2} = 0;$$

et l'on trouvera, en désignant par C, C_1, deux constantes arbitraires,

$$y = -\frac{\varepsilon}{\tau}\int_0^a da \left\{ \int_0^a \varphi(a)da + C \right\} + C_1;$$

y devant être nul, pour $a = 0$, on en conclut d'abord $C_1 = 0$, et

$$y = -\frac{\varepsilon}{\tau}\int_0^a da \left\{ \int_0^a \varphi(a)da + C \right\};$$

y devant encore être nul; lorsque $a = l$, on aura

$$\int_0^l da \left\{ \int_0^a \varphi(a)da + C \right\} = 0,$$

ou

$$\int_0^l da \int_0^a \varphi(a)da + Cl = 0;$$

d'où

$$C = -\frac{1}{l}\int_0^l da \int_0^a \varphi(a)da;$$

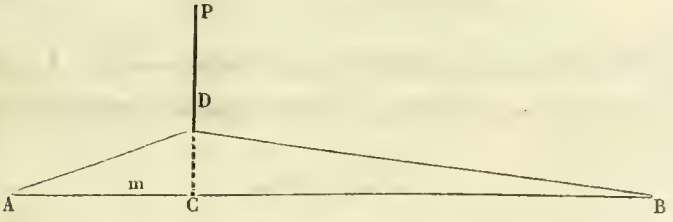
et par suite, en posant

$$\int_0^a \varphi(a)da = F(a), \quad \int_0^a F(a)da = \psi(a),$$

(c)
$$y = \frac{\varepsilon}{\tau l}\left\{ a\psi(l) - l\psi(a) \right\}.$$

C'est là l'équation de la courbe que formera la corde en équilibre.

Faisons l'application de la formule (c) au cas d'une force finie P appliquée en un point unique C de la corde, correspondant à $a = m$.



Pour cela, il faut supposer d'abord que $\varphi(a)$ soit nul pour toute valeur de a, excepté pour les valeurs qui correspondent aux points situés dans un intervalle infiniment petit μ, dans le voisinage de C. La somme des forces dans l'intervalle μ devant être égale à P, on aura

$$\varepsilon \int_{m-\frac{1}{2}\mu}^{m+\frac{1}{2}\mu} \varphi(a)da = \mathrm{P},$$

quelque petit que soit μ.

On voit donc que l'on devra regarder $\int_0^a \varphi(a)da$ comme étant nulle pour $a < m - \frac{1}{2}\mu$, et égale à $\frac{\mathrm{P}}{\varepsilon}$ pour $a > m + \frac{1}{2}\mu$; en passant à la limite de μ, cette intégrale devra être considérée comme égale à zéro, pour $a < m$; et à $\frac{\mathrm{P}}{\varepsilon}$ pour $a > m$; il en résultera d'abord

$$\int_0^l \mathrm{F}(a)da = \int_m^l \frac{\mathrm{P}}{\varepsilon} da = \frac{\mathrm{P}(l-m)}{\varepsilon}.$$

Or, depuis A jusqu'à C la première partie de y est nulle, et la seconde se réduit à $\frac{\mathrm{P}a(l-m)}{\tau l}$.

Donc, lorsque l'équilibre sera établi, la partie de la corde qui se projettera en AC sera une droite AD, ayant pour équation

$$y = \frac{P(l-m)}{\tau l} a.$$

Depuis C jusqu'à B on aura

$$\int_0^a F(a)da = \int_m^a \frac{P}{\varepsilon} da = \frac{P(a-m)}{\varepsilon};$$

et le second membre de l'équation (c) deviendra $\frac{Pm(l-a)}{\tau l}$. La partie de la corde qui se projettera en CB sera donc une droite DB, ayant pour équation

$$y = \frac{Pm}{\tau l}(l-a).$$

Il est facile de vérifier directement ces résultats.

En effet, si la force P fait prendre à la corde la figure ADB, supposée toujours très-voisine de ACB, la tension sera encore égale à τ, à une très-petite quantité près; les angles ADC, BDC, pourront être considérés comme droits ; et il suffira d'exprimer que la somme des composantes des tensions des deux cordons DA, DB, suivant DC, est égale à la force P; ce qui donne l'équation

$$\tau \cdot \frac{CD}{DA} + \tau \cdot \frac{CD}{DB} = P;$$

ou, en remplaçant DA par CA, et DB par CB,

$$\frac{\tau l}{m(l-m)} \cdot CD = P,$$

d'où

$$CD = \frac{Pm(l-m)}{\tau l}.$$

Or la droite qui passe par les points A et D a pour équation

$$y = \frac{CD}{CA} a,$$

ou

$$y = \frac{P(l-m)}{\tau l} a,$$

et la droite DB a pour équation

$$y = \frac{CD}{m-l}(a-l),$$

ou

$$y = \frac{Pm}{\tau l}(l-a);$$

et l'on retombe ainsi sur la même figure d'équilibre.

Si l'on suppose, au contraire, que la force P soit distribuée uniformément dans toute l'étendue de la corde, on trouvera pour équation de la courbe d'équilibre

$$y = \frac{Pa(l-a)}{2\tau l};$$

ce qui montre que cette courbe est une parabole.

Si on fait $a = \frac{l}{2}$, on trouve $y = \frac{Pl}{8\tau}$; ce qui est précisément la moitié de CD, lorsqu'on suppose $m = \frac{l}{2}$. D'où il suit que *le point milieu de la corde se déplace moitié moins, lorsque la force est distribuée uniformément dans toute son étendue, que lorsque cette même force est appliquée en entier au milieu même.*

[3] Considérons maintenant le cas où toutes les forces seraient parallèles entre elles, mais obliques sur la corde. Prenons leur plan pour un des plans coordonnés, et désignons par α, ϵ, les angles de la direction de la force $\varphi(a)$ avec les axes des x et des y.

Les équations d'équilibre seront

$$\frac{d^2x}{da^2} + \delta\varepsilon\cos p\,.\,\varphi(a) = 0, \qquad \frac{d^2y}{da^2} + \frac{\varepsilon}{\tau}\cos q\,.\,\varphi(a) = 0;$$

d'où l'on tirera, en posant, comme dans le cas précédent,

$$\int_0^a \varphi(a)da = F(a), \qquad \int_0^a F(a)da = \psi(a);$$

$$x = \frac{\varepsilon\delta\cos p}{l}\{a\psi(l) - l\psi(a)\},$$

$$y = \frac{\varepsilon\cos q}{\tau l}\{a\psi(l) - l\psi(a)\},$$

on en déduit

$$\frac{\gamma}{x} = \frac{\cos q}{\delta\tau \cos p},$$

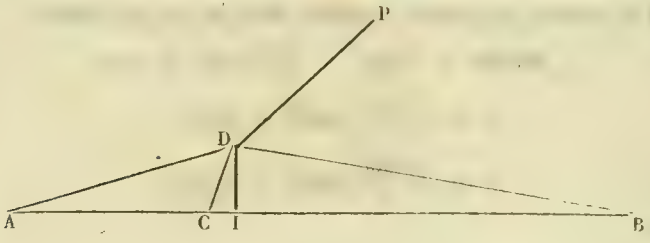
comme on pourrait le tirer des équations différentielles mêmes.

Cela montre que tous les points de la corde se sont déplacés suivant une même direction, indépendante de la loi suivant laquelle varie la force, et faisant avec l'axe AB un angle dont la tangente trigonométrique est $\frac{\cos q}{\delta\tau \cos p}$. Cette direction n'est donc pas en général parallèle à celle de la force. Cela n'arrivera que dans le cas particulier où l'on aura $\delta\tau = 1$, et par suite $K' = K$, à moins que l'on n'ait $\cos q = 0$ ou $\cos p = 0$; ce que nous ne supposons pas, puisque la force n'est ni dans la direction de AB, ni perpendiculaire à AB.

Ainsi, le déplacement de chaque point se fera dans le sens même de la force, quelle que soit sa direction; si l'on a $\tau = \frac{1}{\delta}$, *c'est-à-dire si la corde est tendue primitivement par une force équivalente à autant de kilogrammes que la longueur de la corde contient de fois la quantité dont elle s'allongerait par une augmentation de tension d'un kilogramme.*

Ce résultat, qu'on peut remarquer en passant, est facile à vérifier dans le cas d'une force appliquée en un seul point C de la corde. En effet, les composantes $P\cos p$, $P\cos q$, de cette force produisent des déplacements CI, DI, indépendants l'un de l'autre, et il s'agit de trouver la condition pour qu'ils soient entre eux comme ces composantes mêmes, ou pour que l'on ait

$$CI : DI :: \cos p : \cos q;$$



or, d'après un cacul fait dans le n° [2], on a

$$\mathrm{DI} = \frac{\mathrm{P}\cos q \cdot m(l-m)}{\tau l}.$$

Pour calculer CI, on observera que la tension de AC est augmentée par l'action de la force $\mathrm{P}\cos p$, et que la tension de CB a diminué; mais ces deux variations ne sont pas exprimées par la force $\mathrm{P}\cos p$, et ne sont même pas égales entre elles, comme nous allons le voir. En effet, la longueur m ayant été augmentée de CI, la force qui s'est ajoutée à sa tension est $\frac{\mathrm{CI}}{m\delta}$; la longueur $l-m$ ayant diminué de CI, la force qui a été retranchée de la tension est $\frac{\mathrm{CI}}{(l-m)\delta}$ (ce qui fait voir d'abord que ce n'est qu'au point milieu de la corde que ces variations sont égales). Or, la tension de BI, augmentée de $\mathrm{P}\cos p$, est égale à celle de AI, ce qui donne

$$\frac{\mathrm{CI}}{m\delta} + \frac{\mathrm{CI}}{(l-m)\delta} = \mathrm{P}\cos p,$$

d'où l'on tire

$$\mathrm{CI} = \frac{\mathrm{P}\cos p \cdot \delta m(l-m)}{l};$$

les valeurs de CI et DI donnent

$$\mathrm{CI} : \mathrm{DI} :: \delta\cos p : \frac{\cos q}{\tau}.$$

Donc, pour que la condition demandée ait lieu, il faut que l'on ait $\tau = \frac{1}{\delta}$; ce que nous voulions vérifier.

MOUVEMENT D'UNE CORDE DONT TOUS LES POINTS SONT SOLLICITÉS PAR DES FORCES QUELCONQUES.

[4] Soit $\varphi(a)$ l'expression de la force rapportée à l'unité de masse; p, q, r, les angles que sa direction fait avec les axes, et

qui peuvent varier avec a; les équations générales du mouvement seront

$$(\alpha)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2x}{dt^2} = \varphi(a)\cos p + \dfrac{1}{\delta\varepsilon}\dfrac{d^2x}{da^2}, \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} = \varphi(a)\cos q + \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2y}{da^2}, \\ \dfrac{d^2z}{dt^2} = \varphi(a)\cos r + \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2z}{da^2}; \end{cases}$$

et les valeurs de x, y, z, $\dfrac{dx}{dt}$, $\dfrac{dy}{dt}$, $\dfrac{dz}{dt}$, sont connues pour la valeur particulière $t = 0$; ces fonctions de a déterminent l'état initial du système.

Posons

$$(\varepsilon)\qquad x = x' + u, \quad y = y' + v, \quad z = z' + w,$$

x', y', z', étant des fonctions de a déterminées par les équations

$$(\gamma)\qquad \begin{cases} \varphi(a)\cos p + \dfrac{1}{\delta\varepsilon}\dfrac{d^2x'}{da^2} = 0, \\ \varphi(a)\cos q + \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2y'}{da^2} = 0, \\ \varphi(a)\cos r + \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2z'}{da^2} = 0; \end{cases}$$

et assujetties aux conditions particulières suivantes, qui détermineront les constantes arbitraires,

$$(\delta)\qquad \left.\begin{cases} x' = 0 \\ y' = 0 \\ z' = 0 \end{cases}\right\} \text{pour } a = 0 \text{ et pour } a = l.$$

Les équations (α) se réduiront alors aux suivantes :

$$(\varepsilon)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2u}{dt^2} = \dfrac{1}{\delta\varepsilon}\dfrac{d^2u}{da^2}, \\ \dfrac{d^2v}{dt^2} = \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2v}{da^2}, \\ \dfrac{d^2w}{dt^2} = \dfrac{\tau}{\varepsilon}\dfrac{d^2w}{da^2}; \end{cases}$$

et, en vertu des équations (ϵ), les valeurs initiales de u, v, w, sont celles de x, y, z, diminuées respectivement de x', y', z'; mais les valeurs initiales de $\frac{du}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dw}{dt}$, sont précisément les mêmes que celles de $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, $\frac{dz}{dt}$.

Or il est facile de voir que les valeurs de x', y', z', déterminées par les équations (γ) et (δ), sont les déplacements parallèles aux axes, que subiraient les différents points de la corde, en passant de leur position naturelle à la position d'équilibre, sous l'influence des forces données.

On voit de même que u, v, w, qui sont les déplacements, à partir de la position d'équilibre, sont, d'après les équations (ϵ) et (ε), les déplacements que prendraient à chaque instant les points de la corde, en supposant qu'aucune force extérieure n'y fût appliquée; que les vitesses initiales eussent les mêmes composantes que dans l'état initial proposé, et que les valeurs initiales des déplacements fussent égales à celles de l'état initial proposé, diminuées de celles qui correspondent à l'équilibre.

On arrive ainsi à cette conséquence remarquable, que l'on aurait pu déduire des principes généraux établis dans le mémoire cité dans le n° [1] :

Lorsque les différents points d'une corde sont sollicités par des forces quelconques, qui ne dépendent pas du temps, les déplacements de ces points, estimés par rapport aux positions d'équilibre qu'ils prendraient sous l'influence de ces forces, sont à chaque instant les mêmes que s'il n'existait aucune force extérieure, et que l'état initial fût, par rapport à l'état naturel, ce qu'il est réellement par rapport à l'état d'équilibre.

[5] Nous allons effectuer tous les calculs indiqués, en supposant toutes les forces dans un même plan, dans lequel nous prendrons l'axe des y.

Soient $f(a)$, $f_1(a)$, les valeurs initiales de x, $\frac{dx}{dt}$; $\mathrm{F}(a)$, $\mathrm{F}_1(a)$,

celles de y, $\frac{dy}{dt}$; et faisons, pour abréger,

$$\frac{l}{\delta\varepsilon} = \mathrm{K}^2, \qquad \frac{\tau}{\varepsilon} = \mathrm{K}'^2.$$

Nous aurons, en supposant, pour plus de simplicité, les forces parallèles,

$$(\zeta) \qquad x' = \frac{\cos p}{\mathrm{K}^2 l}\{a\psi(l) - l\psi(a)\},$$

$$y' = \frac{\cos q}{\mathrm{K}'^2 l}\{a\psi(l) - l\psi(a)\},$$

$$u = \frac{2}{\mathrm{K}\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi\mathrm{K}t}{l}\int_0^l f^1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha +$$

$$+\frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi\mathrm{K}t}{l}\int_0^l\{f(\alpha) + \frac{\cos p}{\mathrm{K}^2 l}[l\psi(\alpha) - \alpha\psi(l)]\}\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha.$$

(η)

$$v = \frac{2}{\mathrm{K}'\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi\mathrm{K}'t}{l}\mathrm{F}(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha +$$

$$+\frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi\mathrm{K}'t}{l}\int_0^l\{\mathrm{F}(\alpha) + \frac{\cos q}{\mathrm{K}'^2 l}[l\psi(\alpha) - \alpha\psi(l)]\}\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha;$$

et les valeurs de x et y en résultent d'après les équations

$$(\theta) \qquad x = x' + u, \qquad y = y' + v.$$

Si les forces n'étaient pas parallèles, les deux composantes seraient des fonctions données de a, qui remplaceraient $\varphi(a)\cos p$, $\varphi(a)\cos q$; c'est là le seul changement qu'il faudrait faire dans les formules précédentes.

MOUVEMENT D'UNE CORDE DONT TOUS LES POINTS SONT SOLLICITÉS PAR DES FORCES DONT L'INTENSITÉ VARIE AVEC LE TEMPS.

[6] Le calcul n'offrant pas plus de difficulté lorsque l'on a à considérer les trois variables u, v, w, que lorsque l'on peut se

borner à deux; nous considérerons ce dernier cas, qui est celui où tous les points se meuvent dans un même plan; et nous supposerons même toutes les forces parallèles.

Pour résoudre cette question, nous emploierons la méthode exposée dans le mémoire déjà cité, n° [1].

En conséquence nous chercherons d'abord les valeurs de x, y, que l'on obtiendrait après le temps t, en partant de l'état initial donné, et supposant que les forces fussent, pendant tout ce temps, les mêmes qu'au commencement.

Pour obtenir ces valeurs, il faudra, dans les formules (θ), remplacer $\varphi(a)$ par la valeur que prend la fonction $\varphi(a,t)$, qui représente la force, quand on fait $t = 0$; c'est-à-dire par $\varphi(a,0)$.

Il faudra supposer ensuite que la corde parte de l'état naturel, et se trouve sollicitée par des forces ayant pour expression $\varphi'(\mu)d\mu$, $\varphi'(t)$, étant la dérivée de $\varphi(a,t)$ par rapport à t; et l'on calculera les valeurs de x, y, après un temps égal à $t-\mu$. On intégrera ensuite ces dernières expressions, par rapport à μ, entre les limites 0 et t; puis on ajoutera les résultats aux valeurs calculées d'abord d'après l'état initial donné et les forces $\varphi(a,0)$: et l'on aura ainsi les valeurs de x, y, qui résolvent la question.

En remplaçant $\varphi(a)$ par $\varphi(a,0)$ dans les formules (θ), et posant

$$\int_0^a da \int_0^a \varphi(a,t)da = \Pi(a,t),$$

on trouve, en désignant par x_0, y_0 ces premières parties des valeurs de x et y,

$$x_0 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\cos p}{K^2 l}\{\Pi(l,0) - l\Pi(a,0))\} + \\ + \frac{2}{K\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{t}\sin\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l f_1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha + \\ + \frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l\{f(\alpha) + \frac{\cos p}{K^2 l}[l\Pi(\alpha,0) - \alpha\Pi(l,0)]\} \\ \qquad\qquad \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha. \end{array} \right.$$

$$y_0 = \begin{cases} \frac{\cos q}{K'^2 l}\{a\Pi(l,o) - l\Pi(a,o)\} + \\ + \frac{2}{K'\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l F_1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha + \\ + \frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l\{F(\alpha) + \frac{\cos q}{K'^2 l}[l\Pi(\alpha,o) - \alpha\Pi(l,o)]\} \\ \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha. \end{cases}$$

Si maintenant, dans les mêmes formules (θ), nous remplaçons $\varphi(a)$ par $\varphi'(\mu)d\mu$ et t par $t-\mu$, les fonctions relatives à l'état initial étant nulles, nous obtiendrons, en posant

$$\int_0^a da\int_0^a \varphi'(\mu)da = \chi(a,\mu),$$

et désignant par ξ, η, ces parties infiniment petites des valeurs cherchées de x, y,

$$\xi = \begin{cases} \frac{\cos p}{K^2 l}\{a\chi(l,\mu) - l\chi(a,\mu)\}d\mu + \\ + \frac{2\cos p}{K^2 l^2}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}d\mu\int_0^l\{l\chi(\alpha,\mu) - \alpha\chi(l,\mu)\} \\ \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha. \end{cases}$$

$$\eta = \begin{cases} \frac{\cos q}{K'^2 l}\{a\chi(l,\mu) - l\chi(a,\mu)\}d\mu + \\ + \frac{2\cos q}{K'^2 l^2}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}d\mu\int_0^l\{l\chi(\alpha,\mu) - \alpha\chi(l,\mu)\} \\ \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha. \end{cases}$$

Il faut maintenant intégrer ξ et η, par rapport à μ, entre les limites o et t.

Or, on a

$$\int_0^t\chi(a,\mu)d\mu = \int_0^t d\mu\int_0^a da\int_0^a\varphi'(\mu)da = \int_0^a da\int_0^a da\int_0^t\varphi'(\mu)d\mu =$$
$$= \int_0^a da\int_0^a da\{\varphi(a,t) - \varphi(a,o)\};$$

et, par conséquent,

$$\int_0^t \chi(a,\mu)d\mu = \Pi(a,t) - \Pi(a,0).$$

La première partie de la valeur de ξ étant intégrée par rapport à μ donnera donc

$$\frac{\cos p}{K^2 l}\{a\Pi(l,t) - a\Pi(l,0) - l\Pi(a,t)\} + l\Pi(a,0)\};$$

et, en l'ajoutant à la première partie de x_0, il restera

$$\frac{\cos p}{K^2 l}\{a\Pi(l,t) - l\Pi(a,t)\};$$

de sorte que la valeur cherchée de x sera

$$x = \begin{cases} \frac{2}{K\pi}\Sigma\frac{1}{i}\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l f_1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha + \\ + \frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi K t}{l}\int_0^l\{f(\alpha) + \frac{\cos p}{K^2 l}[l\Pi(\alpha,0) - \alpha\Pi(l,0)]\} \\ \qquad\qquad \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha + \\ + \frac{\cos p}{K^2 l}\{a\Pi(l,t) - l\Pi(a,t)\} \\ + \frac{2\cos p}{K^3 l^2}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l \sin\frac{i\pi\alpha}{l}d\alpha\int_0^t d\mu\cos\frac{i\pi K(t-\mu)}{l} \\ \qquad\qquad \{l\chi(\alpha,\mu) - \alpha\chi(l,\mu)\}. \end{cases}$$

Or l'intégration par parties donne

$$\int_0^t d\mu\,.\cos\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}\{l\chi(\alpha,\mu) - \alpha\chi(l,\mu)\} = l\Pi(\alpha,t) - \alpha\Pi(l,t) -$$

$$-\cos\frac{i\pi K t}{l}\{l\Pi(\alpha,0) - \alpha\Pi(l,0)\} - \frac{i\pi K}{l}\int_0^t d\mu\sin\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}$$

$$\{l\Pi(\alpha,t) - \alpha\Pi(l,t)\}.$$

En faisant cette substitution dans x et réduisant, il vient

$$x = \begin{cases} \frac{2}{K\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi Kt}{l}\int_0^l f_1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha + \\ + \frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi Kt}{l}\int_0^l f(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha + \\ + \frac{\cos p}{K^2 l}\{a\Pi(l,t) - l\Pi(a,t)\} + \\ + \frac{2\cos p}{K^2 l^2}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l\sin\frac{i\pi\alpha}{l}[l\Pi(\alpha,t) - \alpha\Pi(l,t) - \\ - \frac{i\pi K}{l}\int_0^l d\mu\sin\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}\{l\Pi(\alpha,t) - \alpha\Pi(l,t)\}]. \end{cases}$$

Or, on a pour toute valeur de a, comprise entre o et l,

$$\frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha\{l\Pi(\alpha,t) - \alpha\Pi(l,t)\} = l\Pi(a,t) - a\Pi(l,t).$$

Il résultera de là dans x une nouvelle réduction, qui donnera

$$x = \begin{cases} \frac{2}{K\pi}\Sigma\frac{1}{i}\sin\frac{i\pi a}{l}\sin\frac{i\pi Kt}{l}\int_0^l f_1(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha + \\ + \frac{2}{l}\Sigma\sin\frac{i\pi a}{l}\cos\frac{i\pi Kt}{l}\int_0^l f(\alpha)\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha - \\ - \frac{2\pi\cos p}{Kl^3}\Sigma i\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l\sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha\int_0^t d\mu\sin\frac{i\pi K(t-\mu)}{l} \\ \{l\Pi(\alpha,\mu) - \alpha\Pi(l,\mu)\}. \end{cases}$$

Les deux premières parties expriment les déplacements qui auraient lieu après le temps t, si aucune force extérieure n'était appliquée à la corde; et la troisième, ceux qui auraient lieu par l'action de la force $\varphi(a,t)$, en supposant que la corde partît de l'état naturel sans vitesse. Cette dernière partie étant la seule qui ne fût pas connue, c'est à elle que nous nous bornerons pour simplifier les formules; et nous supposerons que l'état initial de la corde soit son état naturel.

En effectuant pour y les mêmes calculs que pour x, on aura les formules suivantes pour la solution de la question.

$$(\lambda)\quad x = -\frac{2\pi\cos p}{Kl^3}\Sigma i\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l \sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha\int_0^t d\mu\,.\sin\frac{i\pi K(t-\mu)}{l}$$
$$\{\,l\Pi(\alpha,\mu) - \alpha\Pi(l,\mu)\,\}.$$

$$(\mu)\quad y = -\frac{2\pi\cos q}{K'l^3}\Sigma i\sin\frac{i\pi a}{l}\int_0^l \sin\frac{i\pi\alpha}{l}\,d\alpha\int_0^t d\mu\,.\sin\frac{i\pi K'(t-\mu)}{l}$$
$$\{\,l\Pi(\alpha,\mu) - \alpha\Pi(l,\mu)\,\}.$$

Si l'état initial n'était pas l'état naturel de la corde tendue en ligne droite, sans aucune action extérieure, il faudrait ajouter aux seconds membres de ces formules les termes qui proviendraient de l'état initial donné, sans avoir égard à aucune force extérieure.

DIRECTION DE LA TENSION MOYENNE DE LA CORDE À SES EXTRÉMITÉS.

[7] La force qui sollicite à chaque instant le point auquel est fixée l'une des extrémités de la corde vibrante est dirigée suivant la tangente à la courbe qu'elle forme, et change à chaque instant de direction, sans changer sensiblement de grandeur.

Considérons l'extrémité prise pour origine, et désignons par $\varphi(a)$, $\varphi_1(a)$, $\varphi_2(a)$, les trois composantes de la force appliquée à chaque point; les équations du mouvement de la corde seront

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \varphi(a) + K^2\frac{d^2x}{da^2},$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} = \varphi_1(a) + K'^2\frac{d^2y}{da^2},$$
$$\frac{d^2z}{dt^2} = \varphi_2(a) + K'^2\frac{d^2z}{da^2};$$

posons, comme précédemment,

$$x = x' + u, \qquad y = y' + v, \qquad z = z' + w;$$

et déterminons x', y', z', par les équations

$$\varphi(a) + K^2 \frac{d^2x'}{da^2} = 0,$$

$$\varphi_1(a) + K'^2 \frac{d^2y'}{da^2} = 0,$$

$$\varphi_2(a) + K'^2 \frac{d^2z'}{da^2} = 0;$$

il en résultera

$$\frac{d^2u}{dt^2} = K^2 \frac{d^2u}{da^2},$$

$$\frac{d^2v}{dt^2} = K'^2 \frac{d^2v}{da^2},$$

$$\frac{d^2w}{dt^2} = K'^2 \frac{d^2w}{da^2}.$$

Si l'on fait

$$a + x = X,$$

les trois coordonnées d'un point quelconque de la corde seront X, y, z; elles seront facilement déterminées en fonctions de a et t, et à un instant quelconque on aurait les équations de la courbe formée par la corde, en éliminant a entre les trois équations qui donnent X, y, z. Les cosinus des angles formés avec les axes par la tangente à cette courbe ont pour valeurs

$$\frac{dX}{ds}, \quad \frac{dy}{ds}, \quad \frac{dz}{ds},$$

Mais il sera plus commode de considérer les rapports différentiels,

$$\frac{dX}{da}, \quad \frac{dy}{da}, \quad \frac{dz}{da},$$

qui leur sont proportionnels, et qu'on obtiendra facilement, puisque X, y, z, seront exprimés au moyen de a.

Le cas le plus simple est celui où il n'y a aucun déplacement suivant l'axe des X; et il suffit pour cela que les composantes de la force, ainsi que du déplacement et de la vitesse primitives, dans cette direction, soient nulles. Il n'y a pas alors de vibrations longitudinales, et les valeurs de y et z ayant leur période

de même grandeur, il suffit de considérer les valeurs moyennes des composantes dans l'étendue de cette période. S'il y avait des vibrations longitudinales, leur durée serait différente de celle des premières, à moins que l'on n'eût $K' = K$; et la corde ne reviendrait à son état primitif qu'après un intervalle qui serait un multiple des deux périodes.

Les quantités proportionnelles aux valeurs moyennes des composantes parallèles aux axes des y et des z, dans l'étendue d'une période T de ces variables, auront respectivement pour expressions.

$$\frac{1}{T}\int_0^T \tau \frac{dy}{da}\,dt, \qquad \frac{1}{T}\int_0^T \tau \frac{dz}{da}\,dt;$$

en considérant τ comme la tension à chaque instant; ce qui n'altère ces quantités que de grandeurs très-petites par rapport à elles-mêmes, puisque la tension variable serait égale à

$$\tau + \frac{1}{\vartheta}\frac{dx}{da} = \tau\left(1 + \frac{1}{\vartheta\tau}\frac{dx}{da}\right).$$

Or, on a

$$y = y' + F(a + K't) + F_1(a - K't),$$
$$z = z' - f(a + K't) + f_1(a - K't),$$

les quatre fonctions F, F_1, f, f_1, étant déterminées par les données, et ayant pour période T. On en tire les valeurs suivantes de $\frac{dy}{da}$, $\frac{dz}{da}$, pour $a = 0$.

$$\frac{dy}{da} = \frac{dy'}{da} + F'(K't) - F'_1(-K't),$$
$$\frac{dz}{da} = \frac{dz'}{da} + f'(K't) - f'_1(-K't).$$

Intégrons par rapport à t entre 0 et T, et observons que l'on a

$$\int_0 F'(K't)dt = \frac{1}{K'}\{F(K'T) - F(0)\} = 0;$$

et qu'il en est de même des autres; il viendra

$$\int_0^T \frac{dy}{da}\,dt = T\frac{dy'}{da},$$

$$\int_0^T \frac{dz}{da}\,dt = T\frac{dz'}{da};$$

et, par conséquent, les valeurs des composantes moyennes sont proportionnelles à $\tau\frac{dy'}{da}$, $\tau\frac{dz'}{da}$; quantités que l'on aurait obtenues si l'on avait considéré l'équilibre au lieu du mouvement.

Les composantes elles-mêmes sont donc égales à celles qui se rapportent à l'équilibre.

La tension suivant l'axe des x étant $\left(\tau + \frac{1}{\delta}\frac{dx}{da}\right)\frac{dX}{da}$, est restée égale à τ, si x est nulle, c'est-à-dire s'il n'y a pas de vibrations longitudinales; et elle est encore la même que cette composante dans l'état d'équilibre.

De là se déduit le théorème suivant :

Lorsqu'une corde vibre sous l'action de forces quelconques, en partant d'un état initial arbitraire, et qu'aucune composante n'est dirigée suivant la droite qui joint ses extrémités, la tension moyenne en chacun de ses deux points est dirigée suivant la tangente à la courbe qui serait déterminée par l'équilibre des forces données, et égale à la tension fixe qui s'y produirait.

Si l'on n'a pas $x = 0$, la composante suivant l'axe des X est proportionnelle à

$$\left(\tau + \frac{1}{\delta}\frac{dx}{da}\right)\frac{dX}{da},$$

et comme

$$\frac{dX}{da} = 1 + \frac{dx}{da};$$

cette expression peut se réduire à

$$\tau\left(1 + \frac{dx}{da} + \frac{1}{\delta\tau}\frac{dx}{da}\right)$$

Or, on a

$$x = x' + \psi(a + Kt) + \psi_1(a - Kt),$$

$$\frac{dx}{da} = \frac{dx'}{da} + \psi'(Kt) + \psi_1'(-Kt),$$

pour $a = 0$.

Intégrant dans l'étendue T' de la période de x, ou des fonctions ψ, ψ_1, on obtient, pour la valeur moyenne,

$$\frac{1}{T'}\int_0^{T'} \frac{dx}{da}\,dt = \frac{dx'}{da},$$

la composante moyenne suivant l'axe des X est donc représentée par

$$\tau\left(1 + \frac{dx'}{da} + \frac{1}{\delta\tau}\frac{dx'}{da}\right),$$

expression qui représente aussi la composante de la tension dans l'état d'équilibre.

Cette composante moyenne reste la même, si l'on considère un intervalle égal à un nombre quelconque de fois T'. Les deux premières restent les mêmes pour tout intervalle multiple de T. *Donc, si l'on considère un intervalle multiple de* T *et* T', *et qui soit encore très-petit, les composantes moyennes de la tension suivant les trois axes sont précisément celles de la tension dans l'état d'équilibre, et la direction de la tension moyenne est la tangente à la courbe d'équilibre.*

DES POINTS QUI PEUVENT ÊTRE EN REPOS PENDANT LE MOUVEMENT DE LA CORDE.

[8] S'il arrivait, d'après la nature particulière du mouvement d'une corde, qu'un de ses points libres fût toujours sollicité par des forces égales et contraires, il resterait en repos, quoique aucun obstacle ne s'opposât à son mouvement. Voyons dans quel cas cela peut arriver.

Si le point M est en repos, la tension moyenne qu'il supporte du côté MA est dirigée suivant la tangente à la courbe d'équilibre de la partie MA soumise à l'action des forces données. De même la tension moyenne égale et contraire qui le sollicite de l'autre côté est dirigée suivant la tangente à la courbe d'équilibre de MB; donc la corde totale AMB serait en équilibre sous l'influence des forces données. D'où l'on tire cette conclusion : *Un point libre d'une corde ne peut rester en repos pendant qu'elle vibre, s'il n'appartient pas à la ligne suivant laquelle la corde serait en équilibre, sous l'action des forces qui lui sont appliquées.*

On voit donc que si aucune force extérieure n'est appliquée à la corde, les points immobiles ne pourront être que sur la droite qui joint ses extrémités.

DES POINTS OÙ LA CORDE PEUT CONSTAMMENT PRÉSENTER UNE INFLEXION.

[9] Nous supposons que la corde ait tous ses points compris constamment dans un même plan, et nous admettrons pour plus de simplicité qu'elle n'ait pas de vibrations longitudinales. On aura alors l'équation unique

$$\text{(A)} \qquad \frac{d^2y}{dt^2} = \varphi(a) + K^2 \frac{d^2y}{da^2},$$

$\varphi(a)$ étant la force parallèle à l'axe des y, appliquée en chaque point de la corde. Pour qu'à un certain instant il y ait inflexion en un point de la corde, il faut que l'on ait à cet instant en ce point $\frac{d^2y}{da^2} = 0$, ou $\frac{d^2y}{da^2} = \infty$; et l'une ou l'autre de ces équations devra avoir lieu, quel que soit t, si l'inflexion doit subsister constamment. Mais si l'on a $\frac{d^2y}{da^2} = \infty$, l'équation (A) donnera

$\frac{d^2y}{dt^2} = \infty$; la force serait donc infinie à chaque instant, et il en résulterait une vitesse constamment infinie en ce même point; ce qui est absurde. On ne peut donc avoir que

$$\frac{d^2y}{da^2} = 0;$$

et l'équation (A) donne par suite

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \varphi(a),$$

d'où

$$y = \varphi(a)\frac{t^2}{2} + C't + C;$$

C' et C étant deux constantes arbitraires. Mais comme y ne peut croître indéfiniment, il faut que l'on ait en ce point $\varphi(a) = 0$, c'est-à-dire que la force extérieure y' est égale à zéro; et de plus $C' = 0$, d'où résulte

$$y = C.$$

Donc le point où il y a constamment inflexion est immobile, et doit par conséquent se trouver sur la courbe que formerait la corde en équilibre sous l'action des forces données.

DEUXIÈME PARTIE.

DE L'ACTION DE L'ARCHET SUR LES CORDES.

[10] Cette question n'est traitée dans aucun ouvrage de physique, ni, je pense, dans aucun mémoire particulier, antérieur à la note que j'ai lue à l'Académie des sciences, le 28 dé-

cembre 1838. Daniel Bernouilli, dans son important mémoire sur les sons produits par les tuyaux d'orgues, a fait quelques réflexions sur la cause qui peut produire et entretenir les vibrations; il les termine par quelques mots relatifs à l'archet; et, pour mieux faire comprendre où en était la question sur ce point, je transcrirai ce passage du mémoire de l'illustre physicien.

« Il ne sera pas hors de propos de faire ici quelques réflexions sur les vibrations des corps sonores, et sur la cause propre à produire et à entretenir ces vibrations. Voici là-dessus une expérience qu'on pourrait faire : qu'on tende horizontalement une corde longue, par exemple, de vingt-quatre pieds; que le poids de la corde, relativement à la force qui la tend, soit tel qu'une vibration naturelle dure, par exemple, un quart de seconde; qu'on place près d'un bout de la corde une roue dentelée dans un plan vertical, perpendiculairement contre la corde qui la frise, de manière, qu'en tournant la roue chaque dent donne un petit coup à la corde et puisse s'échapper; si la roue est toujours tournée uniformément, si la corde reçoit un coup de dent toutes les fois qu'elle part de droite à gauche, ou si du moins elle en reçoit un à chaque second, ou à chaque troisième, ou à chaque quatrième départ, c'est-à-dire si le passage d'une dent à l'autre dure précisément, ou une demi-seconde, ou une seconde, ou $\frac{3}{2}$ de seconde, ou deux secondes, les vibrations de la corde deviendront régulières et seront bien entretenues; mais, sans cette harmonie entre la vibration naturelle de la corde et la répétition du coup de dent, la corde ne formera pas de vibrations régulières.

« Qu'on accélère le mouvement de la roue, la corde aura d'abord, dans toutes ses parties, des mouvements irréguliers; mais quand on sera parvenu à faire durer le passage d'une dent à l'autre précisément un quart de seconde, il arrivera aussitôt que la corde se partagera en deux, et qu'elle formera un nœud au milieu et deux ventres, le nœud sera sensiblement en repos

et la vibration de chaque moitié ne durera plus que la huitième partie d'une seconde. Si l'on accélère encore le mouvement de la roue, et que l'on réussisse à faire donner précisément six coups de corde dans une seconde, alors la dent se partagera en trois parties égales, elle formera deux nœuds et trois ventres, et chaque partie achèvera douze vibrations en une seconde de temps. Tous ces phénomènes pourront être remarqués aux yeux, et cependant ne feront encore aucun effet sur l'organe de l'ouie; mais si on redouble la vitesse de la roue, la corde redoublera le nombre de ses ventres, de même que celui des vibrations de chaque partie, et on commencera à l'entendre faire un bourdonnement, et on pourra hausser le ton à mesure que la roue tourne avec plus de rapidité et qu'elle fait former plus de ventres; mais toujours faudra-t-il cette harmonie que je viens d'établir entre les coups de dents et le nombre de vibrations, sans quoi le son de la corde sera désagréable et ne sera point soutenu, ou même ne se formera point.

« Il est naturel de dire que les petits brins de colophane attachés aux crins de l'archet font la fonction de ces dents, et que l'habileté d'un bon joueur de violon à en tirer un son net et agréable, consiste à manier si bien son archet que cette harmonie soit observée. »

Or il est facile de reconnaître que cette assimilation de l'archet à une roue dentée; agissant comme on vient de l'indiquer, est tout à fait inadmissible; et il suffit pour cela d'observer que lorsqu'on tire un son pur d'une corde, au moyen d'un archet animé d'une certaine vitesse, on peut augmenter cette vitesse sans que le son change; tandis qu'il faudrait, au contraire, que le son devînt immédiatement confus, jusqu'à ce que, la vitesse de l'archet étant devenue double, triple, etc. le son se trouvât à l'octave, à la douzième, au-dessus du premier. L'expérience étant tout à fait opposée à ces résultats, on en doit conclure que l'archet agit autrement que ne le supposait Bernoulli. Et il est juste de dire, au reste, que ce grand physicien ne paraît pas

avoir étudié spécialement cette action, et qu'il n'en a parlé qu'incidemment.

[11] Pour se rendre compte de l'action de l'archet, il faut d'abord observer que, quelle que soit la forme de cet instrument ainsi que la matière dont il est composé, son effet immédiat est de produire un frottement sur une petite partie de la corde qu'il doit mettre en mouvement. Reste à voir maintenant quels sont les effets de ce frottement.

Or les expériences de Coulomb, et plus récemment celles de M. Morin, ont démontré que la force produite sur un corps en repos, par un corps en mouvement et en contact avec lui, est proportionnelle à la pression qui s'exerce sur la partie en contact, et indépendante de la vitesse du corps en mouvement, tant que la nature des surfaces en contact reste la même. Quant à la direction de cette force, elle est celle de la vitesse du corps en mouvement; la réaction exercée sur ce dernier est égale et contraire.

Si les deux corps frottants sont en mouvement, on peut, sans rien changer aux actions mutuelles, imprimer au système un mouvement commun qui réduise un des deux corps au repos; la force qui le sollicitera sera proportionnelle à la pression et dirigée suivant le mouvement de l'autre. D'où l'on voit que la force produite par le frottement sur l'un quelconque des deux corps en mouvement est proportionnelle à la pression, et dirigée dans le sens de la vitesse relative de l'autre corps. Cela posé, il est convenable de distinguer plusieurs cas dans la question qui nous occupe.

[12] 1° *Cas où la vitesse absolue de l'archet est toujours plus grande que celle de la partie de la corde avec laquelle il est en contact.*

La pression que l'archet exerce sur la corde varie le plus ordinairement avec le temps; mais elle peut, sans erreur appré-

ciable, être regardée comme constante pendant la durée très-courte d'une vibration entière; d'où il suit que le frottement qu'elle produit peut être considéré comme une force d'une intensité constante. De plus la direction de cette force est toujours la même, soit que la corde se meuve dans le sens de l'archet, ou en sens opposé, comme cela arrive alternativement : cela résulte de la supposition que nous avons faite, que l'archet avait une vitesse absolue plus grande que celle de la corde : d'où il suit que sa vitesse relative, qui détermine le sens de la force, est toujours dans la même direction.

D'après cela, si l'on applique à ce cas le théorème démontré dans le n° [4], on obtient la proposition suivante :

Si l'on conçoit la figure d'équilibre de la corde sous l'action d'une force égale à celle du frottement auquel elle est soumise, et que cette corde, partant d'un état initial arbitraire, soit soumise à l'action de l'archet, son mouvement par rapport à la figure d'équilibre sera le même qu'il serait par rapport à la droite qui joint ses extrémités, si l'action de l'archet n'existait pas, et que l'état initial fût, par rapport à cette droite, ce qu'il est par rapport à la figure d'équilibre. La durée des vibrations étant la même dans les deux cas, le son rendu sera aussi le même.

On voit avec quelle facilité notre théorie rend compte de l'identité qui a lieu, en général, entre le son que rend une corde par le moyen de l'archet, et celui que l'on obtient en la pinçant.

Si la pression de l'archet vient à changer, la force changera, ainsi que la figure d'équilibre; mais ces altérations étant insensibles pendant la durée très-courte d'une vibration, cette durée ne variera pas, puisqu'elle sera toujours la même que si la corde était pincée et abandonnée librement à elle-même : donc *le ton restera toujours le même malgré la variation de la pression;* résultat d'accord avec l'expérience.

Soumettons notre théorie à une nouvelle épreuve. S'il est vrai que la corde, sollicitée par l'archet, exerçant une pression

constante, ait, par rapport à la figure d'équilibre invariable, le même mouvement qu'elle aurait par rapport à la droite qui joint ses extrémités, si aucune force étrangère ne lui était appliquée, il faut donc aussi, comme on l'observe dans ce dernier cas, que le mouvement produit par l'archet s'éteigne graduellement par les pertes opérées par la résistance de l'air, et par les supports : de telle sorte que, malgré la continuation du mouvement de l'archet, le son finisse par disparaître, et la corde reste immobile, affectant la figure d'équilibre autour de laquelle elle oscillait.

Cette conséquence nécessaire, qui s'est présentée à moi dès l'origine, est si peu indiquée par tous les faits connus, qu'il me semblait d'abord que je n'eusse autre chose à faire que de reconnaître pourquoi, dans la réalité, il en était autrement que dans la théorie que je m'étais faite, et dont je croyais toujours les bases inattaquables. Néanmoins je ne renonçai pas à l'espoir de réaliser cette conséquence; et pensant que la cause qui avait empêché de la reconnaître était l'inégalité inévitable de la pression de l'archet, et la longueur limitée de cet instrument, qui ne permettait pas de prolonger suffisamment l'expérience, je produisis le frottement sur la corde au moyen d'une roue polie et frottée de colophane : j'étais assuré par là de la constance de la pression, et je pouvais prolonger l'expérience indéfiniment. Aussi le résultat a été conforme à mes prévisions. La corde a commencé par faire entendre fortement le son fondamental; le mouvement et le son ont peu à peu diminué d'intensité : et au bout de quelques instants la corde s'est trouvée sensiblement immobile et sans résonnance pendant que la roue continuait à tourner avec vitesse. Seulement on entendait une sorte de grincement produit vraisemblablement par le frottement exercé sur la roue, et par diverses autres causes accessoires, mais qui n'avait aucun rapport avec les sons qui pouvaient résulter des vibrations transversales de la corde.

(13) 2°. *Cas où l'archet n'a pas toujours une vitesse supérieure à celle de la corde.*

Dans ce cas il est nécessaire de considérer séparément les deux portions de l'oscillation, où le mouvement de la partie de la corde qui est en contact avec l'archet s'effectue dans des sens opposés.

Quand le mouvement de la corde est en sens contraire de celui de l'archet, la force de frottement est dans la direction constante du mouvement de l'archet, et l'on se trouve encore dans le cas qui vient d'être examiné. Mais il n'en est plus ainsi dans la partie de la vibration où le mouvement de la corde est dans le même sens que celui de l'archet. A partir de l'instant où s'opère ce changement de direction, jusqu'à celui où la vitesse de la corde devient égale à celle de l'archet, tout se passe encore comme dans le cas précédent. A ce moment la vitesse relative de la corde et de l'archet change de sens, et la force de frottement change de direction; la vitesse de la corde est diminuée par cette force qui lui est opposée, et se trouve bientôt réduite à celle de l'archet même, dans la partie où elle est en contact avec lui.

Il peut maintenant arriver différents cas :

Ou la force provenant de la tension qui sollicite cette partie de la corde est contraire à son mouvement et plus grande que le frottement, et alors la corde restera en arrière de l'archet jusqu'à ce que sa vitesse soit devenue nulle;

Ou cette force de tension, étant encore contraire au mouvement de la corde, est plus petite que le frottement, et dans ce cas la corde suivra le mouvement de l'archet jusqu'à ce que la force de tension se trouve égale au frottement, qui est devenu le *frottement de repos*, et a, par conséquent, un peu augmenté : à ce moment la corde restera en arrière de l'archet jusqu'à ce que sa vitesse soit devenue nulle;

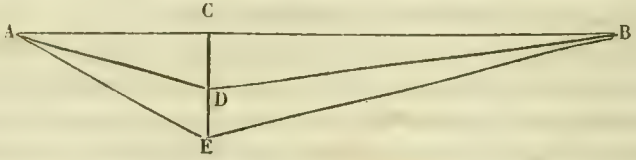
Ou bien la force de tension agira dans le sens même du mouvement, et sera plus grande que le frottement, et alors la vitesse de la corde augmentant, elle devancera l'archet;

Ou enfin la force de tension, agissant encore dans le sens du mouvement, sera moindre que le frottement, et la corde, ne pouvant se porter en avant de l'archet, sera forcée de l'accompagner jusqu'à ce que la force de tension ait changé de sens et soit devenue plus grande que le frottement de repos, et alors la corde restera en arrière de l'archet jusqu'à ce que sa vitesse se soit annulée.

Il y aurait peu d'intérêt à calculer rigoureusement toutes les variétés auxquelles la différence d'état initial peut donner lieu. Nous nous bornerons à examiner avec quelque détail le cas qui se présente le plus ordinairement.

Mouvement de la corde partant de l'état de repos.

[14] Considérons une corde AB dans son état naturel d'équilibre, et opérons le contact entre elle et un archet animé d'une vitesse constante, et exerçant sur cette corde une pression constante. Il en résultera une force constante due au frottement de mouvement.



Soit ADB, la position d'équilibre de la corde sous l'action de cette force appliquée en C; prenons DE = CD, et joignons AE, BE, les oscillations auront lieu de part et d'autre de ADB, entre les positions extrêmes ACB, AEB, si la force est toujours dirigée dans le même sens : ce qui aura lieu si l'archet a une vitesse plus grande que la plus grande vitesse du point c dans l'oscillation supposée entre ACB et AEB.

Ainsi, dans ce premier cas, *on entendra le son fondamental de la corde comme si elle était pincée ; et il devra s'anéantir sensiblement dans un temps très-court.*

Supposons, en second lieu, que l'archet ait une vitesse moins grande que la vitesse maximum dans l'oscillation régulière de ACB à AEB, et pour plus de simplicité prenons le point C au milieu de AB. Le mouvement commencera, comme dans le premier cas, jusqu'à ce que la vitesse de la partie en contact avec l'archet soit devenue égale à celle de l'archet.

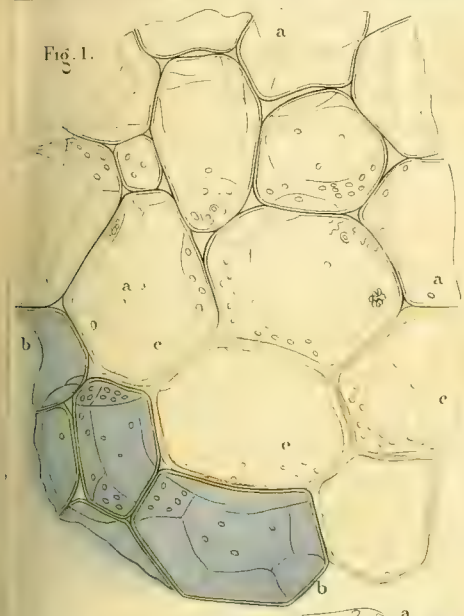
A partir de cet instant la corde suivra le mouvement de l'archet jusqu'à ce que la tension détermine une force supérieure et contraire au frottement de repos (on pourrait même calculer exactement le mouvement de chaque point dans cette partie de l'oscillation, au moyen d'une méthode que j'ai exposée dans un autre mémoire, et qui se rapporte au cas où certains points d'un système ont un mouvement donné; mais une aussi grande exactitude n'est pas nécessaire pour reconnaître les effets généraux). Lorsque la force de tension a acquis cette valeur, la corde a un peu dépassé la position d'équilibre ADB qui correspond au frottement de mouvement; elle commence à rester en arrière de l'archet et se meut sous l'action d'une force extérieure, égale au frottement de mouvement, jusqu'à ce que sa vitesse soit devenue nulle; alors la demi-vibration dans le sens de l'archet est terminée. Et il est bon de remarquer que la corde est allée au delà de la limite qu'aurait eue son mouvement, si elle avait quitté l'archet dans la position ABD, car alors sa vitesse serait devenue moindre que celle de l'archet, à partir de cette position, tandis que cela n'est arrivé qu'au delà.

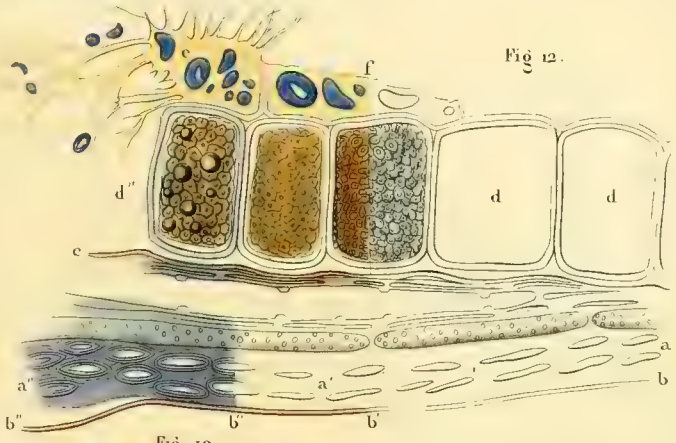
La position où elle vient de s'arrêter détermine celle où elle s'arrêtera de l'autre côté de ADB, après avoir accompli la demi-vibration en sens contraire du mouvement de l'archet. Parvenue à cette position, elle reviendra dans le sens du mouvement de l'archet, et si elle avait toujours moins de vitesse que lui, le mouvement serait le même par rapport à ADB que si la corde

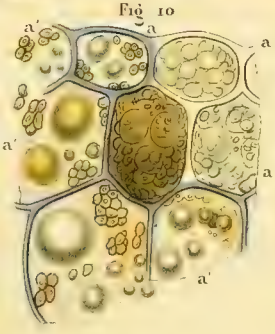
était pincée; et par conséquent, comme on peut négliger la perte de mouvement produite dans une seule vibration, elle viendrait s'arrêter dans la position d'où elle est partie au commencement de l'avant-dernière demi-vibration. Mais, s'il en était ainsi, elle aurait, en passant par ADB, une vitesse plus grande que l'archet, d'après ce que nous avons dit sur l'avant-dernière position d'arrêt. Donc, avant d'arriver en ADB, elle aura acquis la même vitesse que l'archet; elle le suivra alors, et le quittera lorsque la force de tension sera égale au frottement de repos. On se retrouvera donc dans les mêmes circonstances qu'à l'oscillation précédente; par conséquent, le mouvement se reproduira indéfiniment, et le son ne s'éteindra pas.

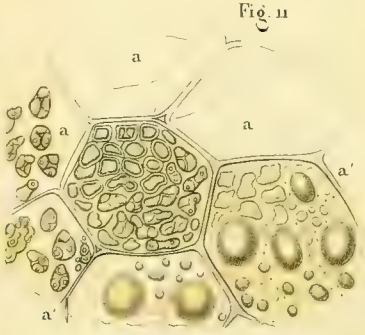
Ainsi la demi-vibration de sens contraire au mouvement de l'archet se fait par rapport à la position d'équilibre ADB, dans le même temps que si la corde était pincée et abandonnée à elle-même. Dans l'autre partie de la vibration, la corde parcourt en sens inverse le même trajet; mais dans une portion de son cours, sa vitesse est celle de l'archet, et moindre qu'elle n'aurait été si cette demi-vibration eût été semblable à celle de la corde pincée et libre : donc la seconde demi-vibration a plus de durée que la première, et *la vibration entière est plus longue que celle de la corde pincée et abandonnée à elle-même.*

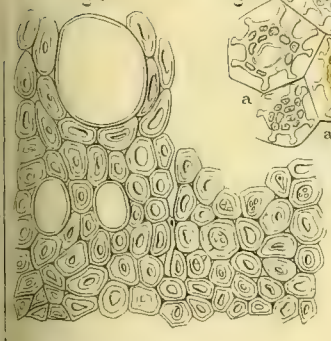
Cette différence peut devenir très-grande. Pour chaque valeur de la pression, elle dépend de la vitesse que l'on donne à l'archet. J'ai vérifié par l'expérience ce nouveau fait que ma théorie m'avait indiqué, et je suis parvenu à tirer d'une corde des sons fort au-dessous du son fondamental. Lorsque la vitesse de l'archet diffère peu de la vitesse maximum qui correspondrait au mouvement libre de la corde, le son est très-peu au-dessous du son fondamental; mais il l'est toujours un peu, et l'on reconnaît, en augmentant cette vitesse, une légère élévation dans le son que la corde fait entendre.

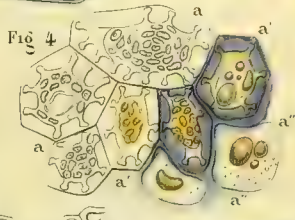


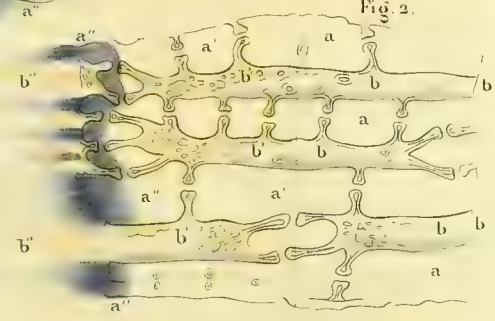


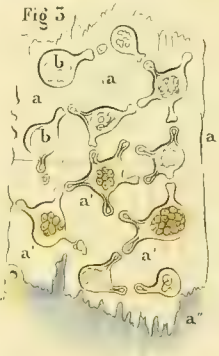


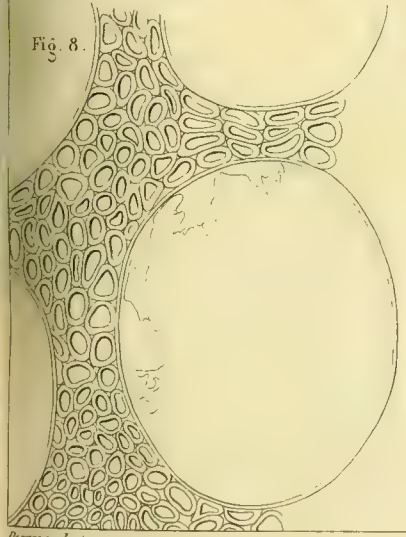


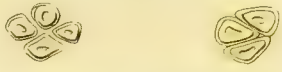


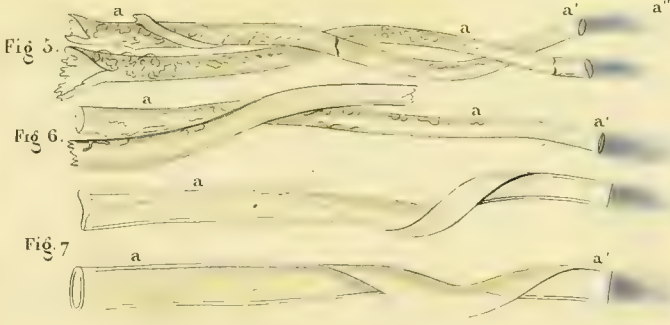








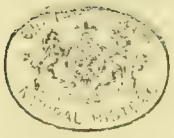


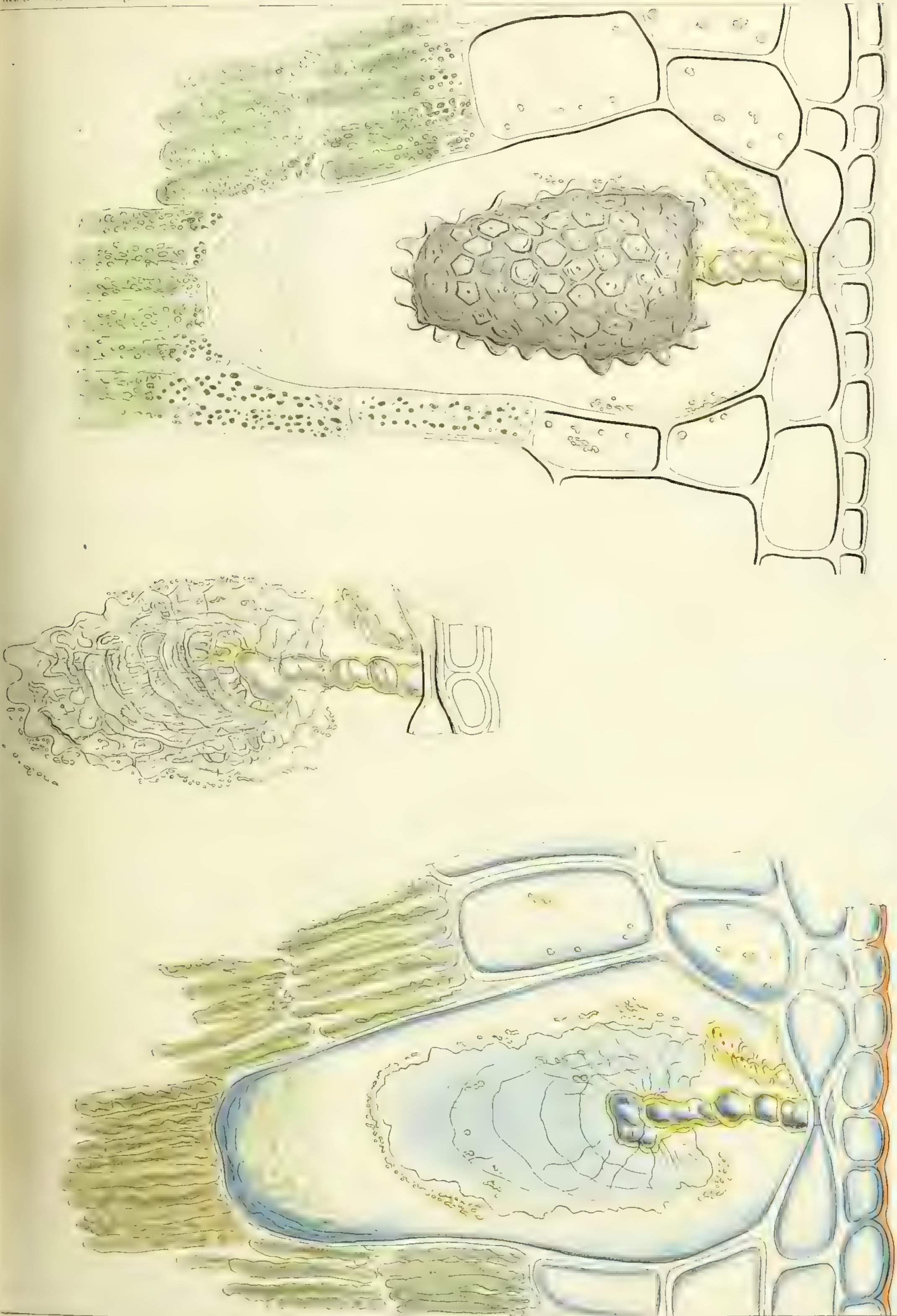


Dessiné par l'auteur

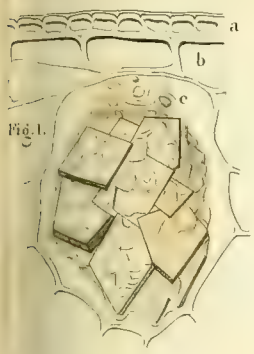
Berroniier sc

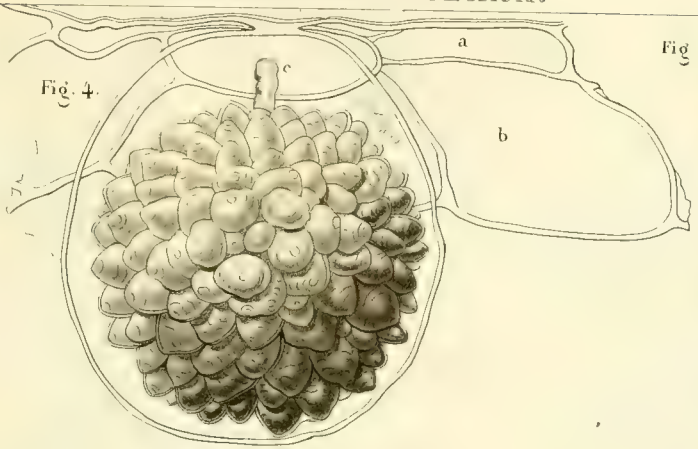
Cellulose, bois, Secrétions huileuses.

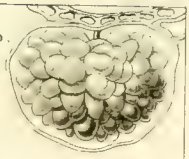


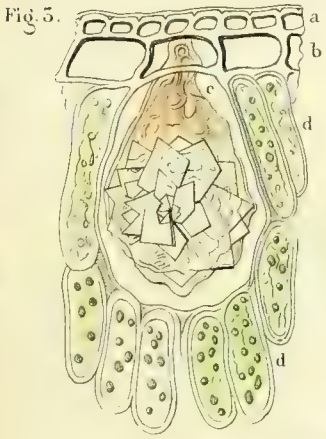


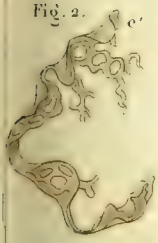
Conerétions du Ficus elastica.

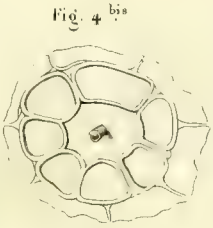


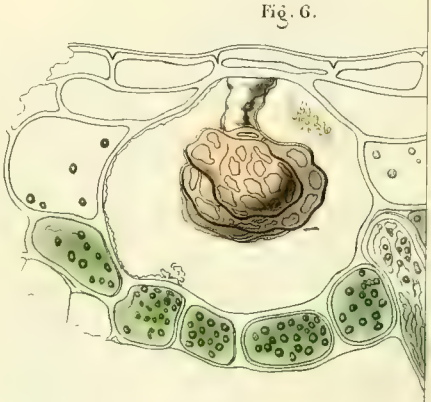


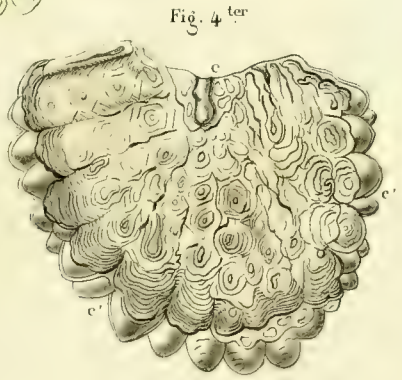


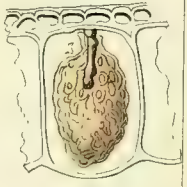


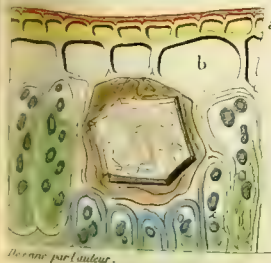


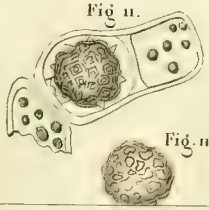


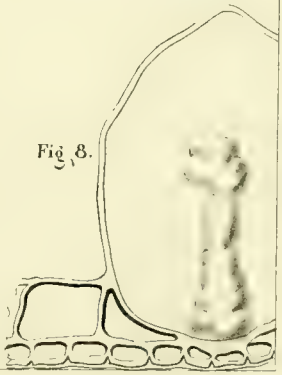






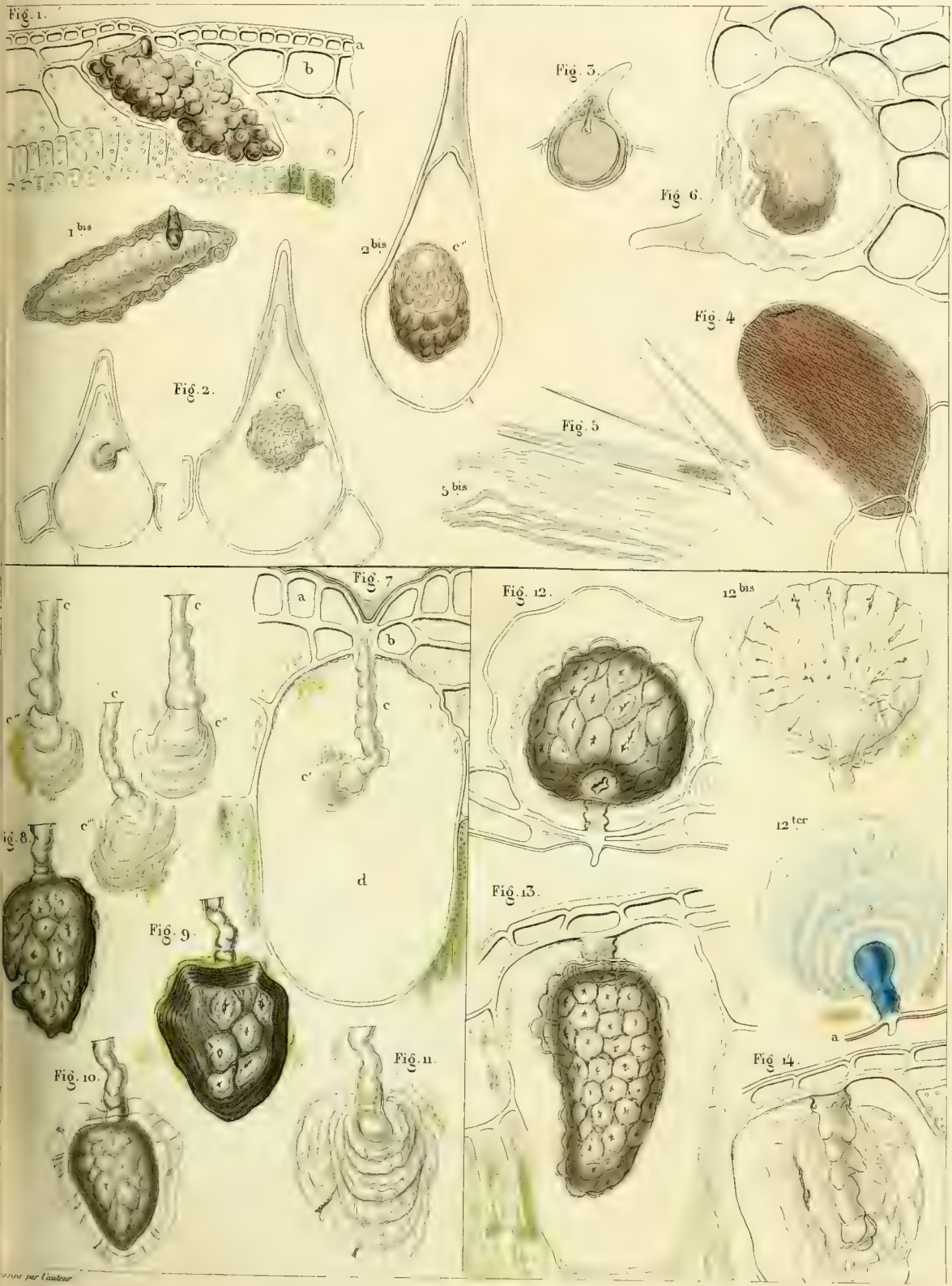




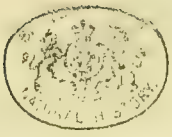


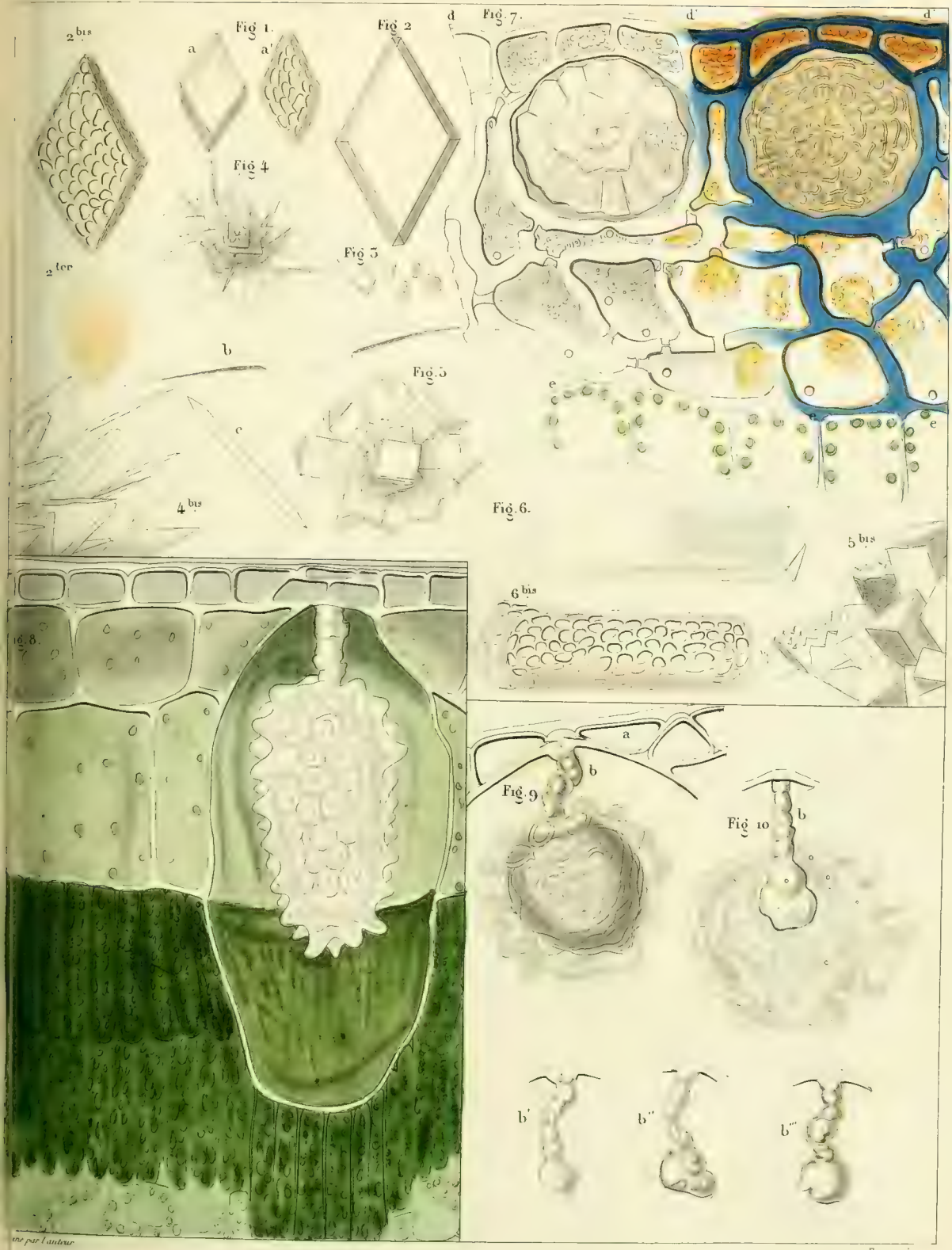
Dessiné par l'auteur. Borremée sc

Concrétions: Juglans regia, Parietaria off., Urtica nivœa Morus nigra, Ficus reclinata, Citrus limonia.

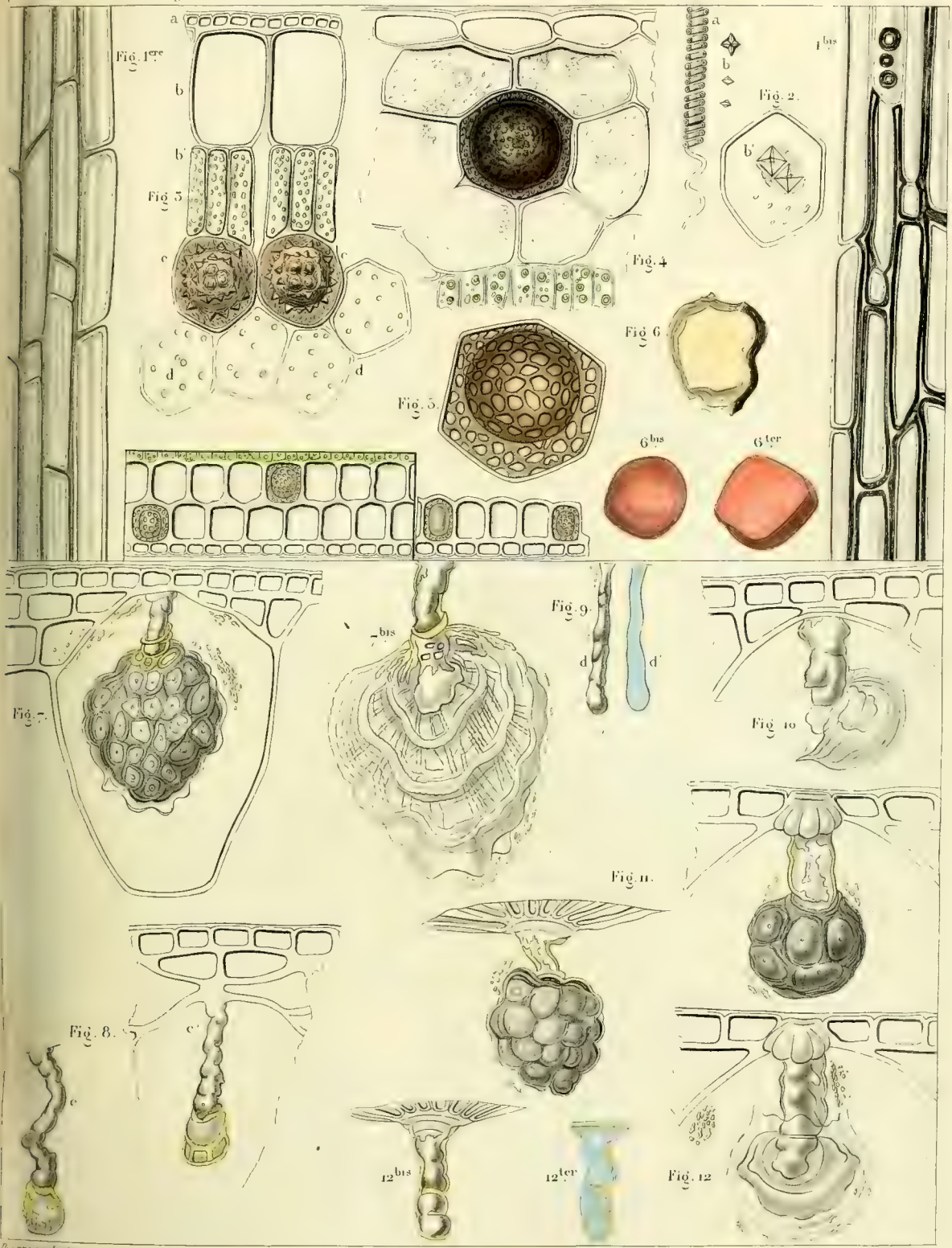


Concrétions des feuilles: Conocephalus naucleiflorus. Broussonetia papy., Humulus lup., Arum Col. Ficus montana, F. ferruginea, F. carica, F. laurifolia.





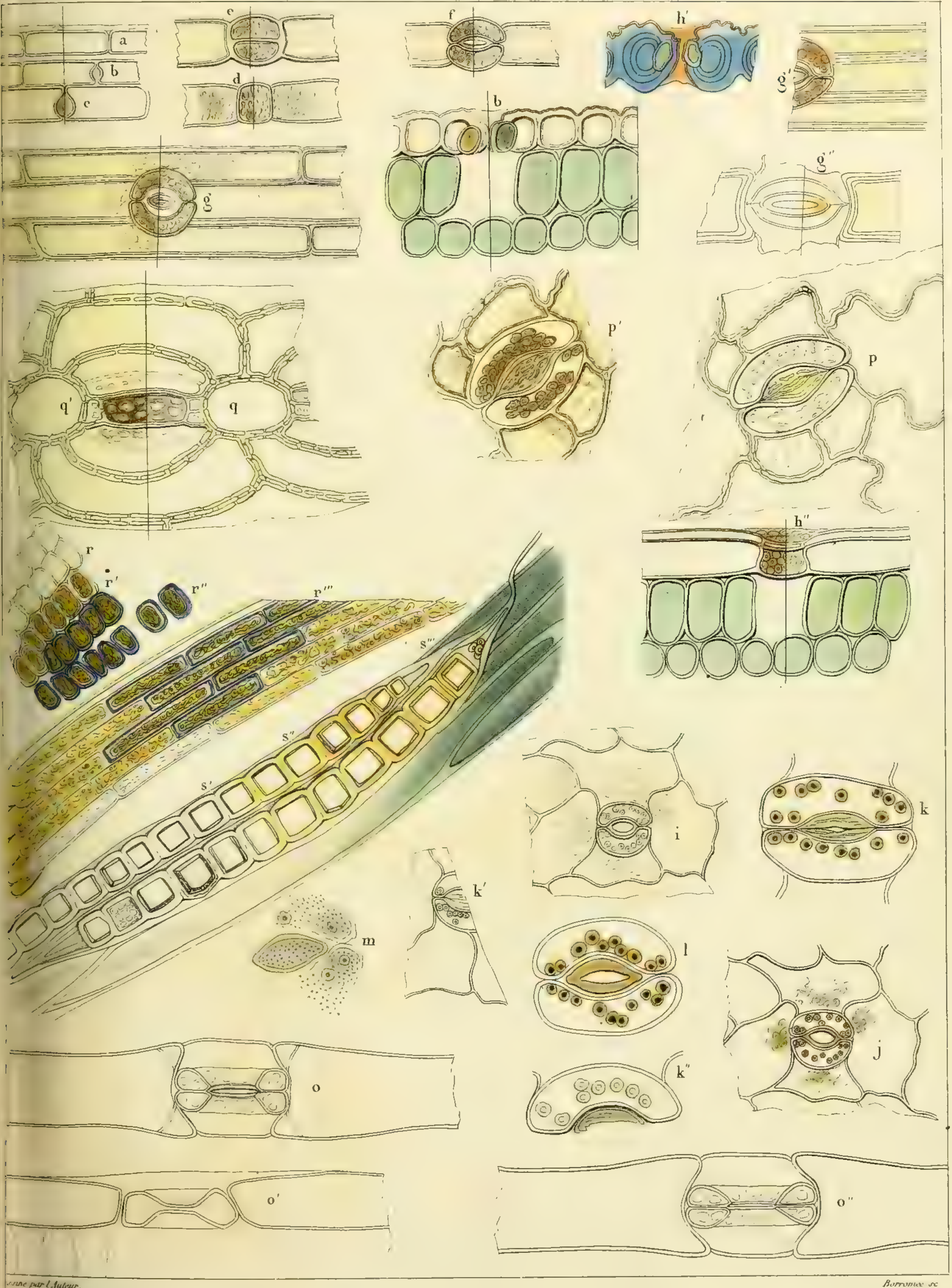
Cristaux et Concrétions dans les tiges et feuilles.



Dessiné par l'auteur

Incrustations, Cristaux, Sécretions huileuses et Concrétions dans les feuilles.

Cristaux, Concrétions, Incrustations dans les feuilles et les tiges.



...ssiné par l'Auteur. Borromée sc.

Formation et développement des Stomates, tissu des radicelles, cristaux du Pandanus.

MÉMOIRE

SUR

LA COMPOSITION CHIMIQUE DES VÉGÉTAUX.

PAR M. PAYEN.

LU À L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 19 MAI 1834.

PREMIÈRE PARTIE.

COMPOSITION DES RADICELLES.

En 1833 M. Silvestre fils avait constaté le dépérissement de plusieurs arbres transplantés dans un sol contenant les débris désagrégés de chênes abattus. Cette observation me conduisit à étudier l'action directe du tanin sur les racines des plantes.

J'ai reconnu que le tanin contracte la substance amylacée, empêche ou détruit sa coloration bleue par l'iode, s'oppose à l'action de la diastase. On sait d'ailleurs qu'il précipite plusieurs substances organiques azotées, et s'unit au tissu cutané des animaux; que son altération spontanée, en présence de l'eau, donne lieu à une abondante production d'acide gallique.

Le tanin, doué d'une action énergique sur divers produits des animaux et des végétaux, pouvait probablement exercer une influence spéciale très-marquée sur les premiers phénomènes de la germination et sur le développement ultérieur des plantes.

Afin d'observer cette influence isolée, je plaçai des graines de blé, de seigle, d'orge, d'avoine et de maïs, comparativement en contact avec de l'eau pure aérée et avec une solution contenant 0,001 de son poids de tanin pur, préparé par la méthode de M. Pelouze.

Dans l'eau aérée, la germination de toutes les semences eut lieu; de nombreuses radicelles blanches et des tiges blanchâtres, puis vertes, se développèrent graduellement.

Dans la solution à 0,001 de tanin, toutes les radicelles prirent peu à peu, vers l'extrémité d'abord, une teinte brune, et se développèrent à peine; les gemmules blanchâtres ne se transformèrent pas en tiges et feuilles vertes; il y avait donc un obstacle fortement marqué à tout développement ultérieur.

Lorsque la faible proportion de tanin libre disparut par suite de sa réaction sur le gluten, l'albumine, l'amidon, etc. des fruits, de nouvelles radicelles se développèrent et restèrent blanches, tandis que les premières radicelles, très-courtes et brunies, n'avaient pris aucun accroissement, ce qui démontrait l'altération des tissus, notamment dans leurs parties terminales; cependant la vie ne s'était pas éteinte dans toutes les parties de l'embryon, car le développement de la gemmule en une tige verte eut alors lieu et suivit les progrès des nouvelles radicelles. Il en fut de même pour plusieurs des plantules transportées dans l'eau pure après la réaction du tanin : la plupart poussèrent des radicelles latérales qui fournirent au développement de la gemmule, mais, dans aucun cas, les bouts altérés ne s'allongèrent.

Voulant observer l'influence d'une aussi faible solution de tanin sur une végétation plus active et plus avancée, j'y transportai plusieurs plantules de blé développées dans l'eau distillée, et dont les racines et les tiges avaient de trois à cinq centimètres de longueur, laissant végéter comparativement les autres jeunes plantes dans l'eau. Pendant deux jours les effets différèrent peu sensiblement; mais ensuite, dans la solution de tanin, les racines prirent une teinte brunâtre, toujours plus foncée sur les

extrémités spongieuses où l'altération s'était d'abord manifestée; peu à peu la nuance brune se communiqua au liquide, par suite de la dispersion d'une partie du produit brun de la réaction du tanin. Le développement des racines s'arrêta, et celui des tiges se ralentit tellement, qu'au bout de dix jours leur longueur était à peu près de moitié moindre que celle acquise dans l'eau simple par des plantules semblables.

Dans une solution incolore contenant 0,002 de tanin pur, les bouts des radicelles de blé furent sensiblement brunis au bout de vingt-quatre heures, à la température de 15 à 17°.

En examinant sous le microscope les racines dont le développement avait été arrêté par le tanin, j'ai reconnu que leurs extrémités surtout étaient opaques et engorgées; que, dans les parties plus anciennement développées, l'opacité moindre se concentrant dans le tissu vasculaire, laissait apercevoir l'organisation normale dans le tissu cellulaire, et surtout près de l'axe.

Les racines des graminées à l'état normal, fraîches et diaphanes, montraient sur le porte-objet toutes les lignes de leur organisation, graduellement plus forte, en remontant des extrémités les plus jeunes jusque vers la tige.

Je crus devoir étendre les essais qui précèdent à d'autres plantes, et varier les observations de la manière suivante :

Des graines germées d'ébénier, de sycomore et de sureau furent implantées dans une solution contenant 0,001 de tanin pur, et comparativement dans de l'eau distillée.

La solution de tanin incolore prit une teinte fauve graduellement plus foncée; les radicelles offrirent peu à peu des nuances irrégulièrement brunes, qui devinrent enfin continues et très-foncées; elles n'avaient d'ailleurs rien gagné en longueur au bout d'un mois; aucune radicelle latérale ne s'était montrée : des flocons bruns amorphes remplaçaient autour d'elles leurs légères fibriles.

Dans l'eau pure, au contraire, des radicelles blanches s'étaient

régulièrement développées, et les feuilles avaient une étendue de cinq à six fois plus grandes que celles venues sous l'influence du tanin.

De petites plantes de maïs venues dans l'eau, et dont les racines et les feuilles avaient de 3 à 5 centimètres de longueur, mises dans la solution de tanin à 0,001, ne poussèrent pendant un mois aucune radicelle; les anciennes racines, de plus en plus rembrunies, ne prirent plus d'accroissement, les feuilles ne poussèrent que très-lentement; et leurs extrémités se desséchèrent peu à peu; l'humidité ayant permis la formation de quelques radicelles latérales au-dessus du liquide, dès que leurs bouts vinrent en contact avec celui-ci ils furent brunis, rendus opaques, leur croissance s'arrêta, la partie au-dessus de la solution resta seule blanche; les plantes de maïs laissées comparativement dans l'eau avaient alors de 22 à 27 centimètres de longueur, leurs racines et radicelles blanches étaient au moins quadruplées de volume.

Ces différentes radicelles furent placées sur le porte-objet du microscope après avoir été coupées, soit en disques par un plan perpendiculaire à l'axe, soit en lames minces par un plan passant dans l'axe.

Les disques des racines blanches non altérées par le tanin laissaient apercevoir en lignes légères toutes les cellules diaphanes jusqu'à leur circonférence ultime, tandis que dans les disques des racines altérées les lignes de l'organisation étaient rembrunies et les cellules oblitérées, près de la circonférence comme autour du tissu vasculaire, offrant dans ces parties l'aspect d'un magma brun opaque.

Une coupe dans l'axe rendait compte du phénomène sous un autre point de vue : les racines attaquées par la solution de tanin offraient, vers leurs bords oblitérés et dans le tissu vasculaire, une couche brune, opaque, occupant presque toute la section dans les bouts qui, avant l'action du tanin, offraient, au contraire, leur organisation en lignes faiblement tracés.

Il paraissait donc évident que la réaction énergique du tanin, en attaquant ainsi les bouts formés récemment, en entravant d'ailleurs, par l'oblitération d'une couche continue, près de la superficie et dans le tissu vasculaire interne, la communication, entre les diverses parties des racines et les tiges, avait dû arrêter le développement des unes, ralentir considérablement celui des autres, enfin rendre tout le système incapable de résister alors aux influences extérieures ordinaires. En effet, les plantules dont les racines avaient été attaquées par le tanin, et qu'on essaya de transplanter dans une bonne terre humide, se fanèrent et périrent bientôt, tandis que celles dont la végétation s'était soutenue par l'eau seule reprirent dans les mêmes circonstances, et purent continuer leur végétation.

On pouvait supposer que les plantes qui contiennent abondamment, dans plusieurs parties, des principes immédiats doués d'une certaine énergie sur divers agents, présenteraient des radicelles d'une composition différente et capable de résister à l'action du tanin. Au nombre des plantes sur lesquelles j'ai opéré dans la vue de lever ce doute, je citerai celles qui suivent, et dont les graines offrirent aussi, dans leur germination sous la même influence, les phénomènes précédemment décrits; leurs applications dans les arts industriels ou pharmaceutiques démontrent chez elles d'abondantes sécrétions de substances grasses ou mucilagineuses.

PAPAVÉRACÉES. . . .	L'œillette (*papaver somniferum*), cultivé pour l'huile qu'on extrait de ses graines.
	Le pavot (*id.*); plusieurs variétés des jardins.
CRUCIFÈRES.	Le colza (*brassica oleracea arvensis*), dont la graine oléagineuse donne lieu à de grandes exploitations rurales.
	Les choux et choux-fleurs; variétés des jardins potagers.
	La cameline (*myagrum sativum*); cultivée pour son huile.

Linées.	Le lin (*linum usitatissimum*), dont on utilise les fibres textiles de la tige, l'huile, le mucilage et la matière azotée de la graine.
Urticées.	Le chanvre (*cannabis sativa*); cultivé en grand pour les fibres textiles de sa tige et pour ses graines *oléagineuses*.
	La pariétaire (*parietaria officinalis*).
Synanthérées . . .	*L'heliantus annuus*, dont les graines contiennent de l'huile en fortes proportions.
Malvacées.	La mauve (*malva sylvestris*) et ses variétés, dont toutes les parties renferment un mucilage abondant.
Géraniées.	*Geranium;* plusieurs variétés des jardins.
Polygonées.	Persicaire (*polygonum persicaria*).
Convolvulacées. .	Liseron des haies (*convolvulus sepium*).
Cucurbitacées. . .	Melon (*cucumis melo*).
Solanées.	Les mêmes résultats ont encore été obtenus en opérant sur plusieurs espèces de solanées et d'asparaginées.
Asparaginées. . . .	

L'influence de l'oblitération produite par le tanin sur les racines de toutes ces plantes se fait sentir aux feuilles et aux tiges, qui se fanent et se dessèchent d'autant plus promptement qu'elles sont plus jeunes, que leur tissu plus lâche est moins résistant, et que la température atmosphérique est plus élevée : ainsi l'effet fut si rapide sur plusieurs liliacées dont les racines seules étaient plongées dans la solution de tanin, que toutes leurs parties vertes furent flétries au bout de quatre jours (la température étant de 20 à 22°)[1], tandis que les feuilles de plu-

[1] Relativement à plusieurs liliacées, l'altération a lieu sans que le liquide se colore très-sensiblement; le tissu aggloméré est obstrué dans les bouts spongieux, sa nuance devient grisâtre plus foncée et plus opaque que dans tout le reste de la longueur des radicelles.

sieurs arbres étaient à peine sensiblement fanées au bout de dix jours, toutes circonstances égales d'ailleurs et quoique leurs racines fussent déjà fortement colorées en brun.

Les altérations ont toujours commencé par le tissu des extrémités des radicelles et des fibrilles latérales. Les parties s'oblitèrent peu à peu et se désagrègent en flocons amorphes de plus en plus opaques; tout le liquide prend ainsi une teinte fauve graduellement plus foncée. Au milieu et à la superficie de toutes ces solutions à 0,001 de tanin, sur les graines ou les racines en contact avec elles ou même à la partie inférieure de tiges, se développent d'abondantes moisissures.

En rapprochant mes observations antérieures relatives au développement des racines sous l'influence des engrais azotés, de l'analogie entre l'action du tanin sur le tissu des animaux et sur les *spongioles* des radicelles, je fus conduit à penser que ces parties, le plus récement organisées, dont la production marche en avant de toutes les radicelles, pourraient contenir les plus fortes proportions d'azote.

Afin de vérifier cette conjecture, je séparai avec soin des radicules, des radicelles et même des fibrilles radicellaires, les bouts spongieux, dans une étendue égale à celle qui avait été marquée dans les premiers essais par la première et la plus forte action du tanin, c'est-à-dire de deux à trois fois leur diamètre.

Les *spongioles*, isolées dans ces trois circonstances et séparément décomposées par la chaleur, dégagèrent les produits gazeux de la décomposition des matières animales; un papier de tournesol rougi était ramené au bleu dès les premiers moments de la réaction; d'autres réactifs constatèrent la présence des vapeurs ammoniacales dans les produits gazeux.

Les radicelles privées de leurs jeunes extrémités, et même leur couche corticale et leur partie cylindrique intérieure séparément essayées, dégagèrent des vapeurs dont la réaction fut, au contraire, constamment acide à partir d'une distance plus ou moins rapprochée du bout excisé, et de plus en plus

acide en s'éloignant davantage et se rapprochant ainsi de la tige.

Les mêmes résultats ont été obtenu avec les plantes dicotylédones et monocotylédones des diverses familles sur lesquelles j'avais précédemment observé l'action du tanin, et qui comprenaient des arbres et arbustes de différents âges, ainsi que des végétaux herbacés.

Il me parut probable que les extrémités radicellaires d'une texture si délicate, contenant une substance azotée abondante et si altérable, devaient, dans les circonstances naturelles, être mises à l'abri des divers principes immédiats, actifs, sécrétés dans certains vaisseaux des tiges et des racines de plusieurs plantes, et qu'ainsi seulement l'uniformité de texture et de composition pouvait être expliquée dans les spongioles de toutes les radicelles.

Une double expérience pouvait donner à ces présomptions le caractère d'une certitude complète.

Plusieurs plantes de la famille des rosacées offrent, dans leurs feuilles, leurs tiges et leurs racines, une abondante production de tanin; il importait donc de constater :

1° Si ce principe avait sur les spongioles de ces plantes, comme sur celles de tant d'autres, une action délétère ;

2° Si les extrémités des radicelles des mêmes plantes étaient, aussi, azotées au point de donner directement des vapeurs ammoniacales.

A cet effet de jeunes plantes de fraisiers furent implantées dans la solution de tanin ; bientôt les bouts spongieux de leurs radicelles furent brunis et oblitérés [1].

Les *spongioles* enlevées sur d'autres individus, et immédiatement décomposées par la chaleur, ont fait virer au bleu le papier de tournesol, tandis que la décomposition des radicelles, privées de leurs bouts spongieux, ramenait au rouge le tournesol bleui.

[1] Sous le microscope l'altération paraissait en tout semblable à celle précédemment observée.

C'est donc une propriété générale appartenant à toutes les plantes précitées, que la présence et les fortes proportions de la matière azotée dans les spongioles de leurs radicelles.

Ces plantes ont encore présenté les mêmes phénomènes, après que leurs racines eurent été en quelque sorte purifiées par une immersion de plusieurs jours dans l'eau, et sous l'influence de la végétation qui, exhalant dans l'air, par les parties vertes de la plante, une quantité d'eau égale à un grand nombre de fois le volume des radicelles, avait dû renouveler dans celle-ci une quantité correspondante de liquide et débarrasser leurs extrémités, surtout, des principes solubles.

Les observations qui précèdent ont été étendues aux radicelles développées au-dessus du sol, non en contact avec lui, et même aux radicelles aériennes de plusieurs familles; je citerai, parmi ces deux dernières sortes, celles des plantes suivantes, que MM les professeurs du Jardin du roi ont bien voulu mettre à ma disposition :

Palmiers	*Areca rubra.*
	Dattier (phenix dactylifera).
Pipéracées	*Piper betel.*
Vitifères	*Cissus.*
Orchidées	*Epidendrum elongatum.*
	Vanilla aromatica.
Aroïdées	*Dracontium pertusum.*
	Caladium pinnatifidum.
	Pothos crassinervia.
	Pothos digitata.
	Pothos lanceolata.

La dimension assez forte de deux radicelles de l'*areca rubra* me permit d'essayer séparément, en opérant des excisions successives :

1° L'extrémité de chaque radicelle, sous une épaisseur égale au quart du diamètre du corps cylindrique de la radicelle;

2° Le corps cylindrique (que recouvrait la portion terminale ci-dessus) coupé sur une longueur d'une fois et demie le diamètre;

3° La partie cylindrique immédiatement au-dessus, coupée sur une longueur égale à la précédente.

Les deux premières portions contenaient assez d'azote pour donner immédiatement des vapeurs ammoniacales, tandis que la troisième donna directement des vapeurs à réaction très-acide.

Dans plusieurs des radicelles, plus charnues, moins ligneuses et à formes plus allongées que les précédentes, notamment celles de plusieurs pothos, la partie fortement azotée avait beaucoup plus d'étendue.

Ces radicelles offrent, au milieu, un tissu vasculaire tenace, très-mince, enveloppé d'un tissu cellulaire très-épais. Toutes les parties de ce dernier, avec leurs enveloppes extérieures, jusques au delà d'une longueur de cinquante fois le diamètre de la radicelle, donnent, dans leur décomposition, des vapeurs ammoniacales.

Afin de rechercher si le tissu vasculaire central n'offrirait pas quelque différence dans sa composition, en raison de la matière *ligneuse* interposée, je l'essayai séparément, et je trouvai que, depuis huit fois environ le diamètre de la radicelle, à partir du bout arrondi jusques à une longueur de vingt fois le même diamètre et au delà, ce tissu résistant donnait directement des vapeurs acides par sa décomposition.

Le même examen comparé fut fait sur des portions de la radicelle d'un dattier, coupée par un plan perpendiculaire à l'axe:

1° Le bout arrondi;

2° Le tissu cellulaire et les tissus enveloppant dans une étendue égale au diamètre;

3° Le même dans une égale étendue;

4° Le même sur une longueur égale;

5° Le même encore sur une même étendue.

Le bout arrondi et les trois parties suivantes donnèrent di-

rectement des vapeurs ammoniacales, tandis que la quatrième donna des vapeurs fortement acides.

Le tissu vasculaire du centre, essayé comparativement, donna pour les portions correspondantes, dans les deux premières parties, des vapeurs alcalines, dans la troisième et au-dessus, des vapeurs acides.

Il paraît donc bien évident que toutes les radicelles des plantes phanérogames admettent dans leurs extrémités spongieuses une assez forte proportion de substance azotée, pour donner directement des vapeurs ammoniacales par leur décomposition.

Cette propriété paraît d'autant plus générale, qu'elle appartient non-seulement aux radicelles nées souterraines, mais encore aux radicelles nées hors de terre ou destinées à vivre dans l'air, et qu'enfin elle résiste à l'effet d'un lavage puissant opéré sous l'influence même de l'action végétative, et se rencontre encore dans les radicelles des plantes aquatiques.

Qu'ainsi les extrémités des radicelles, qui, à la fois, se développent ou se prolongent le plus, et servent à infiltrer la plus grande partie des aliments puisés dans le sol par des plantes, admettent dans leur composition de très-fortes proportions de matière azotée.

Cette matière est comprise dans un tissu spongieux, perméable, formant un faisceau de cellules qui, divergeant dans les radicelles, vont se réunir sur deux couches concentriques, l'une autour de la partie médullaire, l'autre autour du tissu cellulaire et près de l'épiderme.

Le faisceau communique donc directement avec le tissu vasculaire par lequel s'introduisent et se répartissent le plus abondamment les liquides dans l'étendue des radicelles, puis successivement dans toute l'étendue de la plante.

Afin de rechercher si la substance azotée[1], déjà indiquée

[1] Le caractère résultant de la production directe des vapeurs ammoniacales par la décomposition ne souffre aucune exception dans les nombreuses espèces des différentes familles des

dans cette direction par la réaction spéciale du tanin, serait décelée par un autre agent, j'essayai le proto-nitrate de mercure.

Des tranches de radicelles de maïs excessivement minces, coupées, soit dans l'axe, soit perpendiculairement à l'axe, et plongées dans la solution de ce sel, se teignirent, au bout de quelques minutes, en rose, puis en rouge, dans toutes leurs parties occupées par la substance azotée; les spongioles montraient un faisceau serré de faibles cellules allongées, rouges, convergentes au bout, qui, en se prolongeant, divergeaient dans le tissu vasculaire, laissant de moins en moins colorés, puis presque incolores, le conduit médullaire et le tissu cellulaire.

On voit que ce réactif donnait les mêmes indications que le tanin, mais d'une manière plus nette, les tissus restant diaphanes et non désagrégés.

D'ailleurs, dans diverses autres radicelles, le système vasculaire fut toujours coloré en rouge par le même réactif, et, à l'extrémité, le tissu des spongioles fut toujours entièrement rougi [1].

Une question importante restait encore à décider : la substance azotée constituait-elle seule une partie des tissus, surtout dans les extrémités spongieuses où sa proportion est constamment plus forte? était-elle seulement annexée et très-adhérente aux parties, où j'avais observé sa présence et sa continuité dans toute l'étendue des racines?

Il me sembla que, pour résoudre cette question, il fallait em-

plantes monocotylédones et dicotylédones; mais l'étendue des parties douées de cette propriété varie suivant que, dans les différentes plantes, la matière de consistance ligneuse prédomine plus ou moins : elle varie aussi dans une même plante suivant que le développement des radicelles a été plus ou moins rapide. La présence de la matière azotée est démontrée d'ailleurs par le dégagement de l'ammoniaque, lorsqu'on chauffe toutes les parties des radicelles avec de la potasse hydratée.

[1] La réaction du nitrate de mercure sur la substance azotée est quelquefois modifiée par des corps étrangers, notamment dans le tissu cellulaire verdâtre des radicelles de plusieurs *pothos* : le tissu devient brun par le même réactif qui colore en rouge le tissu vasculaire naturellement incolore.

ployer un réactif capable de dissoudre la substance azotée, sans attaquer sensiblement les faibles membranes des tissus.

La macération dans l'eau, à la température de 20 à 25°, donna lieu à la fermentation de la substance azotée; mais elle rendit le reste du tissu trop facile à désagréger pour être bien observé.

L'action de l'eau bouillante rendit blanche et opaque la matière azotée, dans les parties où le tanin et le proto-nitrate avaient décelé sa présence; vue au microscope, cette réaction offre un des moyens les plus simples de reconnaître la substance azotée adhérente aux parois des tissus.

Je supposai alors que, sous l'influence de la végétation, je pourrais faire absorber aux racines une solution capable de dissoudre la substance azotée, sans attaquer sensiblement la portion non azotée; à cet effet, plusieurs plantes, et notamment des asperges et des maïs, ayant deux mois de croissance dans un bon terrain, furent arrachées, puis implantées dans de l'eau pure, afin d'opérer un lavage par infiltration, au travers de toutes les parties des racines.

Au bout de cinq jours, l'eau distillée fut remplacée par une solution saturée de potasse, étendue de cinq cents fois son poids d'eau.

Peu à peu l'extrémité des radicelles devint sensiblement plus transparente. Cet effet se propagea de proche en proche.

Au bout de six jours, pendant lesquels on avait renouvelé deux fois le liquide dissolvant, celui-ci fut remplacé par de l'eau, deux fois aussi renouvelée pendant deux jours; alors toutes les radicelles, sur une longueur qui, dans l'état normal, donnait directement des vapeurs ammoniacales, furent égouttées entre des feuilles de papier à filtre, puis soumises à la décomposition par la chaleur : les produits présentèrent constamment une réaction acide.

Il était donc évident que la substance azotée enlevée par la potasse avait laissé un tissu léger d'une autre nature, ayant en

apparence la même forme, mais incapable de se développer, car aucune des radicelles ne s'était allongée depuis la dissolution de la substance azotée qui la rendait opaque.

Un doute important restait à éclaircir : la matière azotée formait-elle, avant l'action de la potasse, un tissu isolé, notamment dans les portions teintes en brun et oblitérées par le tanin, portions correspondantes à celles que le proto-nitrate de mercure colorait en rouge, ou étaient-elles seulement renfermées dans le tissu végétal?

J'essayai d'abord de couper en tranches minces les parties rendues transparentes; mais il me fut impossible d'éviter des déchirures notables.

Afin de parer à cet inconvénient, je coupai des tranches excessivement minces, soit perpendiculaires, soit parallèles à l'axe des radicelles, avant toute altération, puis je les laissai pendant plusieurs jours immergées dans une solution contenant cinq fois plus de potasse que pour les radicelles entières. Toutes ces tranches, vues au microscope, ne présentèrent aucune solution de continuité dans leur tissu; seulement on remarquait un amincissement prononcé des parois des cellules des spongioles, et des vaisseaux que marquent le tanin, l'eau bouillante et le proto-nitrate de mercure.

Craignant que la solution de potasse n'eût été trop faible pour dissoudre complétement la matière azotée, je répétai la même expérience en décuplant la dose de cet agent, c'est-à-dire en employant un liquide qui contenait 0,1 de solution saturée de potasse pure, et j'arrivai aux mêmes résultats, mais plus promptement.

Les tranches minces bien lavées à l'eau pure après l'action de la potasse, puis égouttées et immergées dans la solution de proto-nitrate de mercure, ne donnaient plus de coloration qui indiquât la présence de la matière azotée; celle-ci était donc enlevée, quoique son absence n'eût pas laissé de lacunes dans le tissu [1].

[1] L'augmentation de la transparence fut surtout remarquable dans le tissu vasculaire des

Toutes les réactions qui précèdent indiquent la présence de la matière azotée dans les racines, et démontrent aussi son prolongement sans solution de continuité dans la tige et aux points de jonction; on voit qu'elle suit les déviations des vaisseaux. Cette observation s'accorde d'ailleurs avec le fait de la prolongation, dans certaines circonstances, d'une portion du tissu des tiges en racines et réciproquement.

Cherchant enfin à constater si la matière azotée avait pu être empruntée pendant la végétation aux liquides introduits dans le système vasculaire, je recueillis ces derniers en plongeant dans l'eau les radicelles coupées en disques fort épais, puis filtrant; le liquide rapproché se troubla un peu; évaporé à siccité, le résidu donna directement, en effet, des vapeurs ammoniacales par sa torréfaction.

CONCLUSIONS.

Les conséquences suivantes découlent des faits exposés dans cette première partie :

1° Le tanin, même en très-faibles proportions, attaque énergiquement les *spongioles* des racines, les oblitère, les colore en brun et les rend opaques; cet effet les frappe de mort : il se propage lentement, dans le tissu vasculaire surtout, et peut tuer toute la plante.

2° Les mêmes parties que le tanin attaque le plus dans les radicelles sont, en général, colorées en rouge par une solution de proto-nitrate de mercure, savoir principalement : les spongioles dans toute l'épaisseur de leur tissu, et plus haut tout le système vasculaire.

3° Les spongioles, des radicelles, des plantes phanérogames, terrestres, aquatiques et aériennes, renferment assez de subs-

radicelles de plusieurs orchidées, dont les tranches présentaient sous le microscope, après la réaction de la potasse, toutes les lignes de leur organisation bien plus nettement dessinées et sans lacunes.

tance azotée pour donner directement des vapeurs ammoniacales lorsqu'on les décompose à l'aide de la chaleur.

4° La substance azotée s'étend dans toute la longueur des radicelles, en accompagnant le système vasculaire; sa proportion est diminué par l'accroissement graduel du ligneux; elle pénètre en proportions variables, dans le tissu cellulaire [1].

5° La substance azotée, insoluble dans l'eau pure, ou très-peu soluble, même sous l'influence végétative, ne forme pas dans les radicelles un tissu à part, mais une partie semble adhérer aux parois des tissus précités.

6° Les spongioles la contiennent abondamment dans toutes leurs cellules, tandis qu'à une certaine distance de ces extrémités, la plus grande partie du tissu cellulaire, et surtout celui du conduit médullaire n'en renferment que des traces.

7° Cette substance paraît essentielle à la vie des plantes; sa forte proportion dans les extrémités des radicelles et dans les sucs de leurs vaisseaux, peut concourir à expliquer l'action si remarquable des engrais azotés, et, sous ce rapport, sa découverte répond au désir exprimé dans le rapport de MM. Becquerel, Dutrochet et Dumas, relativement à mon précédent mémoire [2].

8° La nature même de cette substance et sa grande altérabilité expliquent l'action ainsi bien déterminée du tanin sur les spongioles; elle peut faire prévoir les effets de divers autres agents nuisibles, toutes les fois qu'ils dépassent certaines proportions.

9° Les sucs qui passent dans les vaisseaux des radicelles des plantes en bon état de végétation tiennent en solution une substance azotée, et fournissent, sans doute, à l'entretien de la sécrétion azotée insoluble, observée dans les tissus.

10° La même substance azotée que sécrètent les radicelles se

[1] Les racines aériennes qui transpirent le plus, et notamment celles de plusieurs *pothos*, en recèlent le plus dans ce tissu.

[2] Voyez pages 2 et 3 de ce rapport fait par M. Dumas à l'Institut, et inséré dans le t. XXX des Annales des sciences naturelles (1re série).

prolonge sans interruption dans les racines et les tiges des plantes, bien qu'en proportions graduellement moindres; elle doit donc jouer un rôle important dans les phénomènes de la végétation.

DEUXIÈME PARTIE.

COMPOSITION CHIMIQUE DES ORGANES DES VÉGÉTAUX, NUTRITION DES PLANTES, CAUSE GÉNÉRALE DE L'ALTÉRATION DES BOIS, MOYENS DE LES CONSERVER.

LUE À L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 18 DÉCEMBRE 1837.

A l'occasion d'un concours ouvert en 1820 par la société centrale d'agriculture, j'avais rassemblé un grand nombre de faits d'où l'on pouvait déduire des données générales sur les applications des débris des animaux à la nutrition des plantes.

La société royale décerna le premier prix à ce travail, et afin d'étendre les mêmes applications parmi les agriculteurs, elle offrit chaque année, depuis cette époque, des prix spéciaux qui continuent à figurer sur les programmes.

Je fis connaître, dans un second mémoire, qui obtint l'approbation de l'académie des sciences, plusieurs circonstances qui permettent de réaliser les maxima d'effets utiles, en employant ces substances azotées.

Il restait à démontrer le rôle des matières organiques riches en azote : agissaient-elles en excitant les forces végétatives, ou fournissaient-elles une partie des principes utiles à la nutrition des plantes?

Après avoir étudié la composition des parties des plantes qui sont le plus directement en contact avec les agents de la fertilité du sol, et cherchant surtout quel pouvait être le rapport com-

mun, à cet égard, entre les extrémités radicellaires des divers végétaux. Je fus assez heureux pour trouver une loi générale de cette composition.

Déjà M. Gay-Lussac, en observant la présence de l'azote dans les graines, avait appelé l'attention des physiologistes sur ce fait important, et annoncé qu'il lui paraissait pouvoir conduire à expliquer la fécondité, comme engrais, des résidus que laissent les graines après l'extraction de leur huile; l'épuisement du sol par la culture de certaines plantes; l'utilité des substances azotées dans la végétation; peut-être même leur nécessité dans toutes les formations organiques. (Juillet 1833, *Annales de chimie.*)

Ainsi soutenu dans la route que j'avais suivie, j'essayai de généraliser mes observations en déterminant la composition de toutes les parties des végétaux presqu'à l'état naissant, et le plus possible isolées de ces principes immédiats, produits ou résidus, abondants et variables, sécrétés ou déposés parmi les tissus durant la vie des plantes.

Il fallait, pour les surprendre à peine formés, étudier tous les organes suivant l'ordre de leur développement, et la sève suivant sa marche progressive; à cet égard, les descriptions si claires de nos savants physiologistes, ainsi que les procédés d'expérimentation de M. Biot, m'ont offert des guides certains.

J'aurais cru devoir joindre à l'appui de mes observations la description de diverses expériences analogues à celles qui, dans mes précédents mémoires, démontraient la part active et féconde que prennent dans la production agricole les débris des animaux, si leurs résultats n'eussent été admis maintenant, non-seulement par les sociétés savantes qui s'occupent d'économie rurale et se multiplient si utilement en France, mais encore par toutes les personnes familiarisées avec les bonnes pratiques de l'agriculture; on sait bien en effet aujourd'hui que les engrais riches en substances azotées sont les plus efficaces, et partout on s'occupe des moyens d'utiliser sous ce rapport une foule de débris naguère perdus.

Mais on ignorait encore si les produits de ces agents indispensables à la fertilité du sol étaient assimilables dans les végétaux, dans toutes leurs parties, comme dans les radicelles.

Il fallait donc constater si la substance azotée résidait dans tous les organes essentiels de la vie végétale, ou seulement dans plusieurs d'entre eux; si cette matière pouvait former seule certains tissus; si elle accompagnait, quelquefois seulement, ou toujours, leur reproduction; en quel état elle existait dans les plantes; si elle y prenait une ou plusieurs formes constantes.

En supposant ces résultats obtenus, il convenait encore de rechercher s'ils se représenteraient les mêmes relativement à des plantes qui sécrètent abondamment des produits acides, du tanin, des huiles, ou des résines; s'ils ne différaient pas dans certaines saisons, ou pour des terrains peu fertiles, et enfin relativement à des plantes venues spontanément dans des terres incultes.

Tels sont les problèmes que je crois avoir résolus par des expériences poursuivies depuis quinze ans dans ces vues.

Dans la première série de mes recherches, un grand nombre de *bourgeons* offrirent une composition chimique analogue à celle des feuilles, et donnèrent, dans leur décomposition rapide ou spontanée, des réactions concordantes avec cette composition, tandis qu'au contraire plusieurs organes de la floraison et de la fructification, malgré la présence d'un léger tissu végétal, contenaient des proportions telles de matières azotées, qu'ils se rapprochaient de plusieurs produits des animaux.

En réfléchissant sur ces caractères, en apparence distinctifs, qu'offraient les organes foliacés comparés aux organes séminifères et aux extrémités des radicelles des plantes, il me parut convenable d'examiner plus attentivement, avant de les admettre, si des développements plus ou moins avancés, une nutrition aérienne plus ou moins abondante, n'occasionnaient pas la plus notable différence entre eux.

Les organes sexuels, en effet, soit par leur végétation très-

circonscrite ou leur courte existence, soit en raison de ce que leurs premiers progrès sont opérés à l'abri de la lumière vive, pouvaient être facilement saisis et observés avant que leur composition chimique se fût compliquée par une formation abondante de tissus ligneux ou d'autres principes immédiats.

En un mot, du point de vue où je m'étais placé, je ne devais, me semblait-il, apercevoir la similitude de composition qu'en observant toutes les parties des plantes à l'état où les présentent naturellement les extrémités radicellaires, dont la formation est toujours très-récente.

J'ai successivement étudié pendant les saisons favorables, et à plusieurs degrés de développements, tous les organes de la floraison suivant l'ordre de leur formation, en les recherchant d'abord dans l'intérieur des jeunes bourgeons, puis au fur et à mesure qu'ils devenaient, par leur accroissement, plus facilement perceptibles.

PRINCIPALES EXPÉRIENCES RELATIVES À LA COMPOSITION CHIMIQUE DES ORGANES DES VÉGÉTAUX PHANÉROGAMES.

Le 12 juin 1825, plusieurs des jeunes épis non encore fleuris du blé de Pologne (*triticum Polonicum*) semé le 12 mars furent examinés : les organes intérieurs de la floraison ayant été extraits, on traita isolément les étamines et les stigmates; chacun d'eux donna, par la carbonisation dans un tube, des vapeurs contenant un excès d'ammoniaque sensible au papier rouge de tournesol et à l'acide chlorhydrique. L'ovule et ses enveloppes donnèrent à la calcination des gaz à réaction légèrement acide[1]. Quelques jours plus tard, les épis étant en fleurs, les étamines calcinées don-

[1] L'addition préalable de quelques parcelles de potasse suffisait pour faire dégager d'abondantes vapeurs ammoniacales; le même phénomène eut lieu par l'addition préalable d'une base alcaline à toutes les parties des végétaux trop avancés dans leurs développements pour dégager directement des vapeurs ammoniacales.

nèrent directement des vapeurs acides; mais, à l'aide de la potasse, elles dégagèrent beaucoup d'ammoniaque.

Les fruits avaient alors deux millimètres dans leur plus grand diamètre; on remarquait à l'intérieur de très-petits sphéroïdes transparents, qui, sous l'influence de l'iode, des faibles solutions alcalines, des acides plus ou moins étendus, comme de la diastase, présentaient les caractères des granules d'amidon. Toute la masse du périsperme, ainsi que les téguments, donnaient des vapeurs acides à la calcination directe et alcalines par l'addition préalable de la soude ou de la potasse. Les mêmes résultats furent obtenus en agissant sur le seigle à des degrés égaux de développement. A l'époque de leur maturité, les différentes espèces et variétés de blé cultivées en grand offrent dans leurs téguments et les périspermes la propriété de donner directement par leur décomposition rapide des gaz à réaction acide, tandis que les radicules et les gemmules dégagent directement dans les mêmes circonstances des vapeurs très-alcalines.

Les parties correspondantes de toutes les variétés d'orge, de maïs [1] et de riz, ont offert les mêmes résultats; tous les périspermes des ces graines, traités à froid par l'eau distillée, ont donné une solution qui, filtrée, chauffée à 100°, a laissé coaguler une substance floconneuse, albuminiforme, riche en azote, donnant des vapeurs très-ammoniacales à la calcination. La solution limpide étant rapprochée à siccité, le résidu, traité successivement par l'eau et par l'alcool, donna deux autres solutions, qui, toutes deux évaporées à sec et calcinées en présence d'une base alcaline, dégagèrent de l'ammoniaque; la substance azotée affecte donc au moins quatre formes dans ces périspermes : l'une insoluble; la deuxième soluble, mais coagulable; la troisième incoagulable, soluble dans l'eau; la quatrième soluble dans l'eau

[1] A l'époque de la floraison du maïs, où les ovules, dépourvus encore d'embryons visibles, contiennent une masse cellulaire translucide gélatiniforme, celle-ci peut donner directement des vapeurs ammoniacales, tandis que toutes les enveloppes et les autres parties antérieurement formées produisent, à la calcination, des gaz acides.

et l'alcool. Le cotylédon de toutes ces graines mûres, est abondamment pourvu d'une matière grasse, fixe, que l'éther isole et abandonne après son évaporation.

Toutes les espèces et variétés de blés, de seigle, d'orge d'avoine, de maïs et de riz germées dans l'eau distillée ou la vapeur aqueuse, à l'abri de la lumière, développèrent des radicelles et des gemmules qui, jusques à une longueur de plusieurs millimètres, produisaient à la calcination, directement, des vapeurs très-alcalines; pour toutes aussi, dès que la gemmule, exposée à la lumière, avait acquis une coloration verdâtre, elle donnait par sa distillation rapide des produits volatils acides, tandis que les radicelles blanchâtres laissaient encore dégager des vapeurs alcalines.

Chacune des graines, après que la germination eut développé de quatre centimètres la longueur totale de la plantule, séparée alors de celle-ci, contenait, pour un égal poids, moins d'azote qu'avant la germination [1].

Ces faits, et un grand nombre d'autres, démontrent que les premiers développements des embryons puisent dans la substance nutritive que leur fournissent les périspermes ou les cotylédons une plus grande proportion de la matière azotée que dans l'alimentation ultérieure; nous verrons que c'est aussi ce qui a lieu pour les premiers développements de tous les organes, au-dessus comme au-dessous de la superficie du sol, qui puisent dans la sève ascendante ou dans la terre leur première nourriture.

Légumineuses. — Pois (*pisum sativum*). Les feuilles très-jeunes, n'ayant encore qu'un à quatre millimètres de longueur, séchées puis calcinées, dégagèrent des vapeurs à réaction alcaline directement, tandis que des feuilles complétement développées, prises sur le même individu, donnèrent à la calcination des gaz acides.

De très-jeunes boutons à fleurs, n'ayant encore qu'un à deux

[1] Cette diminution dans la proportion de la substance azotée fut appréciée par l'analyse élémentaire, et aussi en comparant les résultats de l'analyse des fruits avec la composition de la plantule développée.

millimètres, séchés et calcinés, exhalèrent directement des produits abondants en ammoniaque. Les enveloppes, les pétales, les étamines et les ovaires, extraits des boutons, longs de huit à dix millimètres, donnèrent encore des produits gazeux à réaction alcaline; mais, dans une fleur développée, les pétales offrirent, par leur décomposition au feu, des vapeurs acides; les fleurs, épanouies au même point, contenaient des étamines, du pollen, de jeunes gousses et des ovules qui, essayés isolément, donnèrent des vapeurs ammoniacales. Après la chute des pétales, lorsque les ovules eurent atteint une longueur de trois millimètres, ils dégageaient encore des vapeurs à forte réaction alcaline, tandis que toutes les parties des gousses donnaient à la calcination des gaz acides.

Plus tard, lorsque chaque ovule contenait un embryon baigné dans un liquide, il donnait encore, après dessiccation, des vapeurs ammoniacales par la calcination.

Les radicelles et les tigellules, extraites des pois verts ou légèrement jaunâtres, ou parvenus à la maturité, dégagèrent, par la décomposition ignée, des vapeurs ammoniacales.

Les cotylédons des jeunes pois donnèrent aussi des gaz alcalins, tandis que leurs téguments produisaient des vapeurs acides.

Haricots (*phascolus vulgaris*). Un jeune bouton à fleur, ayant une longueur de quatre millimètres, desséché tout entier et soumis à la calcination, dégagea des produits à forte réaction ammoniacale, chacune des parties, depuis les enveloppes jusques à l'ovaire, extraite de boutons ayant quatre à huit millimètres, de cette variété et de celle dite *phaseolus caracolla,* offrit des résultats semblables.

Les ovules, extraits après la chute des pétales, donnèrent aussi des vapeurs alcalines. Dans un haricot mûr le tégument donne des gaz à réaction acide. Il en est de même des cotylédons lavés, tandis que le liquide évaporé à siccité donne, même après séparation de l'albumine coagulée, des gaz alcalins, la radicule et la gemmule dégagent directement des vapeurs ammoniacales.

Fèves (*faba vulgaris*). Les graines à l'état de maturité offrent, dans la gemmule et la radicule, une composition assez riche en azote pour donner directement des gaz très-alcalins.

Baguenaudier (*colutea arborescens*). Des ovules presque complétement développés dégagèrent, par la calcination, des vapeurs fortement alcalines, tandis que les porte-graines et les pédoncules donnaient des gaz à réaction acide. Les gousses très-jeunes, extraites d'une fleur entièrement épanouie et privées de leurs ovules, donnèrent des vapeurs ammoniacales.

Cascaloté. — Sous ce nom on connaît, au Brésil, les gousses et les graines d'une sorte de mimosa ; les premières donnent à la calcination des vapeurs très-acides ; il en est de même des téguments de la graine mûre, tandis que l'amande ainsi que les radicules et les gemmules développent des produits volatils à réaction très-alcaline.

Faux ébénier (*cytisus saburnum*). Les ovules extraits d'une gousse immédiatement après la floraison, les pétales étant fanés, donnèrent des vapeurs ammoniacales, tandis que toutes les parties de la plante plus anciennement formées dégageaient des vapeurs acides.

Solanées. — Pommes de terre (*solanum tuberosum*). On a extrait des boutons à fleurs clos, les étamines, les stigmates et les ovaires : chacun de ces organes, essayé séparément par dessiccation et calcination, dégagea des vapeurs très-alcalines.

Un jeune bouton à fleur, calciné tout entier, donna également des vapeurs ammoniacales.

Plusieurs gros tubercules, qu'on laissa végéter à l'air depuis le mois de février jusques au mois de mai, montraient, vers la partie inférieure des pousses verdâtres, de nombreuses radicelles blanchâtres, courtes : extraites à plusieurs époques et calcinées, toutes ces radicelles dégagèrent d'abondantes vapeurs ammoniacales.

Un petit tubercule ayant deux millimètres et demi de diamètre, formé dans la terre au bout d'une radicelle, fut desséché et cal-

ciné : il produisit des vapeurs douées d'une forte réaction alcaline, tandis que de gros tubercules coupés, séchés, pulvérisés et calcinés, donnaient des gaz sensiblement neutres, c'est-à-dire dans lesquels les produits acides saturaient les produits ammoniacaux : en effet l'addition de la soude faisait dominer des vapeurs très-alcalines.

Tabac (*nicotiana tabacum*). Un jeune bouton à fleur, ayant quatre millimètres de diamètre, donna des vapeurs très-riches en ammoniaque. Il en fut de même des ovaires, des folioles blanchâtres et d'une petite feuille à peine verdâtre. Une feuille verte à moitié de son développement présenta des produits à réaction alcaline, tandis que les nervures isolées, ainsi que les pétioles et toutes les parties de la plante plus anciennement formées et plus ou moins dures ou ligneuses, développaient des produits acides.

Malvacées. — Mauve (*malva sylvestris*). Dans les jeunes boutons à fleurs clos, tous les organes discernables isolés donnèrent des vapeurs ammoniacales, tandis que les enveloppes florales externes, colorées en vert et consistantes, dégageaient des produits gazéiformes, rougissant la teinture bleue du tournesol.

Rose tremière (*althæa rosa*). Tous les organes de la floraison extraits d'un jeune bouton clos dégagèrent des vapeurs à réaction alcaline prononcée, tandis que les enveloppes florales vertes et les pédoncules exhalaient des produits où dominait la réaction acide.

Cucurbitacées. — Potiron (*cucurbita pepo*). Dans toutes les parties terminales les plus jeunes, les feuilles, les tigelles garnies de poils, les boutons à fleurs mâles et à fleurs femelles, donnèrent, par leur décomposition ignée, des vapeurs fortement ammoniacales.

Une petite feuille d'un vert prononcé, ayant quinze millimètres sur sa plus grande dimension, dégagea aussi des vapeurs ammoniacales; les étamines d'un bouton clos donnaient une forte

réaction alcaline, tandis que l'enveloppe dégageait des produits moins alcalins. Après l'épanouissement des fleurs mâles, leur pollen était aussi riche en azote. Les stygmates des boutons clos dégageaient des vapeurs abondantes en ammoniaque ainsi que les ovaires correspondants. (Les poils dont ces derniers sont garnis dégagèrent des vapeurs sans réaction sensible.) Les ovules, après la floraison, dégageaient d'abondantes vapeurs ammoniacales.

Le tissu cellulaire des feuilles larges et vertes et de leurs pétioles donnait encore des gaz à réaction sensiblement alcaline, tandis que leurs nervures, plus consistantes, dégageaient des vapeurs acides.

Les pédoncules des fruits mûrs donnaient aussi des vapeurs acides; il en fut encore de même du tissu enlevé sous l'écorce lisse des potirons mûrs.

Nyctaginées. — Belle de nuit (*mirabilis jalapa, nyctago hortensis*). Aussitôt après la floraison, les ovules extraits, séchés et calcinés, donnèrent des vapeurs ammoniacales.

Dans les graines mûres, les radicules, les gemmules ainsi que les cotylédons, pris ensemble ou séparément, dégagent à la calcination d'abondantes vapeurs ammoniacales; l'endosperme blanc farineux est rempli d'amidon très-fin, et dégage des gaz acides; l'enveloppe externe, dure, ligneuse, donne des vapeurs à réaction acide.

Crucifères. — Colza (*brassica oleracea arvensis*). Les quatre folioles au bout d'une jeune pousse dégagèrent à la calcination des gaz à réaction alcaline; une petite feuille plus développée, mais encore d'un vert jaunâtre pâle, dégageait aussi des vapeurs ammoniacales, tandis que les grandes feuilles, leurs nervures et les tiges consistantes donnaient à la calcination des produits acides.

De jeunes graines blanches, longues d'un millimètre, donnaient des gaz ammoniacaux; mais, un peu plus développées, ayant atteint une longueur d'un millimètre et demi, les graines

encore blanchâtres, extraites sur le même pied, donnaient des vapeurs à réaction acide.

Choux (*brassica oleracea*). Les jeunes boutons contenant tous les organes de la floraison non développés et des folioles vertes, ainsi que chacun des organes pris isolément, dégagèrent d'abondantes vapeurs ammoniacales; il en fut de même des jeunes feuilles; les tissus peu consistants des feuilles entièrement développées, offrirent encore le même résultat, tandis que leurs nervures, et les pétioles, donnèrent des vapeurs acides.

Les bourgeons blancs, séparés des pédoncules d'un choux-fleur, donnèrent à la calcination des vapeurs fortement alcalines.

Synanthérées. — Soleil (*helianthus annus*). Dans un très-jeune bouton à fleurs, ayant deux centimètres de diamètre, tous les organes internes perceptibles, isolés ou réunis, donnèrent à la calcination des vapeurs très-alcalines, tandis que les parties vertes externes, les nervures des feuilles, les pétales et toutes les parties plus anciennement formées produisaient des gaz à réaction acide.

Topinambour (*helianthus tuberosus*). Toutes les folioles blanchâtres ou d'un blanc verdâtre, le plus récemment formées, donnaient, par leur décomposition, un excès d'ammoniaque, tandis que les feuilles développées, leurs nervures, les pétioles et les tiges consistantes donnaient des gaz acides.

Dahlia. Un jeune bouton à fleur, ayant quatre millimètres de diamètre, dégarni de ses parties enveloppantes, donna des vapeurs alcalines, tandis que les enveloppes externes, les feuilles, les tiges et les fleurs épanouies offraient à la calcination des produits volatils acides.

Artichaut (*cynara scolymus*). Les cinq premières rangées de folioles blanchâtres, larges de un à trois millimètres, prises à l'intérieur d'un artichaut très-jeune, dégagèrent des vapeurs alcalines.

Laitue (*lactuca sativa*). Les six plus petites feuilles, le plus ré-

cemment formées, développèrent des vapeurs ammoniacales, tandis que les grandes feuilles donnaient des gaz acides.

Citronnelle, aurone mâle (*artemisia abrotanum*). Tous les organes internes de la floraison, extraits de boutons clos, donnèrent des vapeurs abondantes en ammoniaque, tandis que les enveloppes, les feuilles et les jeunes branches dégageaient des gaz acides.

Chénopodées. — Poirée (*beta cicla*). Toute la partie terminale d'une tige, offrant, dans des boutons très-récemment formés, les organes de la floraison, leurs enveloppes, les petites feuilles et une portion de l'extrémité de la tige, développèrent des vapeurs ammoniacales à la calcination.

Liliacées. — Oignons (*allium cepa*). Tous les organes intérieurs des boutons à fleur, blanchâtres, ayant deux à trois millimètres et extraits d'une jeune tête close, donnèrent des vapeurs alcalines. Les fleurs épanouies, et même les ovules qu'elles renfermaient, dégagèrent des vapeurs acides, ainsi que toutes les parties de la plante plus anciennement formées.

Lis blanc (*lilium candidum*). Dans une fleur récemment ouverte, le pollen, ainsi que les ovules extraits et traités à part, dégagèrent des vapeurs ammoniacales tandis que l'ovaire développait des produits acides.

Tulipe (*tulipa*). Les ovules tirés d'une fleur entr'ouverte donnèrent des vapeurs alcalines, tandis que l'ovaire et toutes les parties plus anciennes dégageaient des gaz acides, ainsi que les jeunes graines, extraites huit jours après la floraison.

Amaryllidées. — Narcisse des jardins (*narcissus odorus*.). Après la floraison les amandes encore molles, opalines, de consistance gélatineuse, donnèrent des vapeurs alcalines, tandis que leurs téguments et plus encore l'ovaire, et toutes les parties plus anciennement formées, dégagèrent des produits acides.

Renonculacées. — Pieds d'alouettes (*delphinium ajacis*). Les ovules, examinés immédiatement après la floraison, donnèrent des vapeurs ammoniacales, et les ovaires des gaz acides.

Pivoine (*pæonia officinalis*). Dans un turion souterrain, sortant d'un tubercule, les trois premières enveloppes rougeâtres donnèrent des vapeurs acides, et les très-petites folioles blanchâtres internes, des gaz sensiblement alcalins; les ovaires ainsi que les ovules d'une fleur épanouie dégagèrent des vapeurs acides.

Thymélées. — Daphne (*daphne laureola*). Les organes de la floraison extraits de boutons à fleurs clos, calcinés après dessiccation, donnèrent d'abondantes vapeurs ammoniacales; après la floraison il en fut de même des stigmates, tandis que déjà les étamines, les ovaires et les pétales donnaient des produits sensiblement acides.

Asparaginées. — Asperges (*asparagus officinalis*).

1° Un jeune turion enlevé sur une souche et qu'on dessécha, après l'avoir débarrassé des enveloppes foliacées.

2° Tous les organes floraux découverts et pris au bout d'une tige encore souterraine.

3° Les folioles blanchâtres qui enveloppaient ces organes.

4° La partie terminale d'une tige sortie de terre, après avoir éliminé les écailles qui la recouvraient.

5° Enfin la partie de la tige la plus voisine du bout et jusques à cinq centimètres de longueur.

Chacune de ces parties désséchée isolément, puis calcinée, dégagea des vapeurs ammoniacales, tandis que les écailles dures et la portion blanche, mais la plus consistante, des tiges, prise dans la terre, sur les pieds qui ont fourni les numéros 4 et 5 ci-dessus, développèrent des gaz à réaction acide.

Polygonées. — Oseille (*rumex acetosa*). Bien que toutes les parties vertes et développées de cette plante contiennent une grande proportion de sucs propres très-acides, si l'on extrait de l'extrémité de ses panicules terminales les plus jeunes boutons à fleurs, renfermant les organes récemment formés, ils dégagent à la calcination des vapeurs ammoniacales.

Papaveracées. — Pavot double (*papaver somniferum*). Les jeunes boutons à fleurs dépouillés de leurs enveloppes et contenant des

pétales incolores, les ovaires, les étamines et les stigmates, dégageaient d'abondantes vapeurs ammoniacales; les ovules d'un pavot simple nouvellement fleuri donnèrent aussi des vapeurs alcalines.

Iridées. — Safran (*croçus sativus, officinalis*). Les stigmates et le pollen donnèrent des vapeurs sensiblement neutres. Sur des fleurs moins avancées venues en terre, le pollen dégagea des produits très-alcalins, tandis que les étamines, débarrassées du pollen, et les pétales, dégageaient des vapeurs acides; les stigmates donnèrent des produits sensiblement neutres.

Boraginées. — Héliotrope (*heliotropium peruvianum*). Les étamines et le pollen, essayés séparément, donnèrent des vapeurs alcalines.

Géraniacées. — Géranium (*pelargonium*). Les ovules extraits après la floraison donnèrent des vapeurs alcalines, tandis que les pétales fanés, les ovaires et toutes les parties plus âgées développaient des gaz acides.

Aurantiacées. — Camélia (*japonica*). Les ovaires de très-jeunes boutons à fleurs simples dégageaient des produits fort alcalins; il en fut de même du pollen de fleurs récemment épanouies, tandis que les étamines, privées de la plus grande partie du pollen, dégagèrent des gaz acides. Les stigmates, ovules et ovaires de jeunes fleurs prises sur un *camelia odorata* donnaient des vapeurs très-alcalines; dans un jeune bouton à fleur double, les folioles blanches peu consistantes, extraites près du centre, donnèrent aussi des vapeurs alcalines.

Oranger (*çitrus aurantium*). Les jeunes boutons à fleurs clos, contenant tous les organes de la floraison, donnent à la calcination des vapeurs ammoniacales.

Les pistils, stigmates, étamines et ovaires renfermant les ovules de fleurs récemment entr'ouvertes, traités séparément, dégageaient des vapeurs ammoniacales, tandis que les parties plus âgées, les pédoncules et les pétales, donnèrent des vapeurs acides.

Magnoliacées. — Magnolier glauque (*magnolia glauca*). En pleine terre, dans les jeunes boutons fructifères, les ovules dégageaient des vapeurs très-alcalines, et les ovaires des produits sensiblement alcalins. Dans les fleurs entr'ouvertes les ovules donnaient des vapeurs très-ammoniacales, le pollen dégageait des gaz alcalins; les étamines privées du pollen, les stigmates, les ovaires, les pédoncules, les pétales et les feuilles donnèrent des gaz acides, ainsi que les bourgeons foliifères.

Cornouiller (*cornus mas*). Le parenchyme charnu du fruit est acide et sucré; la substance dure ligneuse qui enveloppe l'amande est astringente; les cotylédons renferment 0,60 d'une huile grasse; toutes ces parties dégagent à la calcination des gaz acides.

La radicule et la gemmule développent des vapeurs ammoniacales.

Urticées. — Mûrier (*morus nigra*). Tous les organes mâles de la floraison réunis et récemment formés donnèrent des vapeurs acides, tandis que les étamines extraites de l'intérieur de leurs enveloppes dégagèrent des produits alcalins.

Tiliacées. — Tilleul (*tilia europœa*). Le 29 mars 1836, dans un jeune bourgeon clos, les quatre folioles centrales le plus récemment formées dégagèrent à la calcination des vapeurs très-alcalines, tandis que toutes les parties enveloppantes plus âgées donnaient des produits acides.

Acérinées. — Érable (*acer pseudo platanus*) *faux sycomore*. Les organes de la fructification, extraits de l'intérieur d'un bourgeon non développé, donnèrent des vapeurs ammoniacales, tandis que les enveloppes dégageaient des vapeurs acides. A l'époque de la floraison, les ovules récemment formés dégageaient des produits alcalins, tandis que les ovaires et toutes les parties plus anciennes donnaient des gaz acides.

Marronier d'Inde (*œsculus hippocostanum*). Les ovules, ayant de trois à cinq millimètres, extraits des fruits le 1er juin, séchés et calcinés, donnèrent d'abondantes vapeurs ammoniacales. Sur

un fruit cueilli peu avant sa maturité, le bout de la radicule de la graine, coupé sur une longueur égale à deux fois son diamètre, donna, par la calcination, des vapeurs alcalines, tandis que des fragments de cotylédon, de tégument et d'ovaire, essayés séparément, dégageaient des gaz acides.

Sur un marron mûr, toutes les parties, même la radicule et la gemmule, donnaient des gaz acides; au même état de maturité, mis dans les circonstances propres à la germination, la radicule, après s'être allongée de dix millimètres, et avoir formé par conséquent un nouveau tissu, donna des vapeurs alcalines, lorsque l'on en soumit à la calcination le bout sur une longueur de quatre millimètres.

Jasminées. — Lilas (*syringa vulgaris*). Le 16 février 1835, les fleurs rudimentaires extraites d'un bourgeon donnèrent des vapeurs ammoniacales, tandis que les folioles et écailles enveloppantes dégagèrent des produits acides. Les boutons très-jeunes, extraits de l'intérieur d'un bourgeon fructifère, le 13 mars, et contenant tous les organes de chaque fleur, furent desséchés et calcinés; ils dégagèrent des vapeurs alcalines, tandis que les pédoncules et enveloppes du bourgeon donnaient des vapeurs acides.

Byttnériacées. — Cacaoyer (*theobroma cacao*). Les corps embryonnaires de la graine privée de cotylédons dégageaient, par leur décomposition au feu, d'abondants produits ammoniacaux et l'huile goudronneuse fétide des *matières animales*, tandis que le reste de l'amande, ainsi que les téguments, donnaient des gaz acides, et en excès les produits goudronneux des substances organiques non azotées, plus une substance aromatique.

Térébinthacées. — Noyer (*juglans regia*).

Les stigmates excisés sur les jeunes ovaires, ayant sept millimètres de grosseur, séchés et calcinés, donnèrent des vapeurs ammoniacales. Les ovules extraits de cet ovaire offrirent aussi dans leur décomposition des gaz très-alcalins.

Dans des noix fraîchement cueillies, à peine parvenues à l'état

de maturité, les radicules, ainsi que les gemmules, donnèrent des vapeurs ammoniacales; les cotylédons concassés, lavés, donnèrent une solution qui, chauffée à 100°, laissa séparer un coagulum fortement azoté. Le liquide clair, rapproché à siccité, donnait à la calcination des gaz acides. Si l'on y ajoutait préalablement de la soude, les vapeurs devenaient ammoniacales. Les deux téguments minces enveloppant l'amande, séparément traités, dégageaient des gaz à réaction acide.

Ribesiées. — Groseiller (*ribes rubrum*). Le 5 mai 1835, les ovules extraits de groseilles récemment nouées, et ayant 0^m9 de grosseur, donnèrent des gaz alcalins à la calcination; toutes les autres parties de la grappe dégageaient des produits acides.

Rosacées. — Amandier (*amygdalus communis*). Le 15 février 1835, dans un bourgeon fructifère clos, on excisa les stigmates, styles, ovaires et les étamines; essayé séparément, chacun de ces organes donna des vapeurs ammoniacales.

Une amande gélatiniforme, translucide, desséchée et calcinée, donna des vapeurs ammoniacales. Le 31 mai, la moitié seulement des cotylédons étaient encore demi-transparents. Cette portion, desséchée et calcinée, donna des vapeurs alcalines, tandis que le tégument dégageait des vapeurs acides.

Dans les amandes devenues presque entièrement opaques, les radicules et les gemmules dégageaient des vapeurs très-alcalines.

De jeunes bourgeons d'un blanc jaunâtre, pris à l'extrémité des branches dépouillées de feuilles par les chenilles, produisirent à la calcination des vapeurs alcalines.

Pêcher (*amygdalus persica*). Le 16 février, les stigmates, styles, ovaires et étamines des bourgeons fructifères, donnaient des vapeurs alcalines, et leurs enveloppes des gaz acides. Le 5 mai, les pétales des fleurs dégageaint des produits acides. Dans l'amande d'un fruit mûr, le 10 septembre 1836, le tégument et les cotylédons dégageaient des vapeurs acides, tandis que la radicule et la gemmule, isolément calcinées, donnaient des vapeurs ammoniacales.

Prunier (*prunus domestica*). De jeunes bourgeons d'un blanc jaunâtre, pris à l'extrémité de branches dépouillées de feuilles par les chenilles, produisirent à la calcination des vapeurs alcalines.

Cerisier (*cerasus vulgaris*). Le 16 février 1835, tous les organes de la floraison, extraits d'un bourgeon fructifère, dégagèrent des produits alcalins. Le 5 mai, les pétales des fleurs donnaient des vapeurs à réaction acide; les ovaires, quoique sans consistance, et les fruits, donnaient aussi des vapeurs acides.

Abricotier (*armeniaca sativa vulgaris*). Le 16 février 1835, les stigmates, styles, ovaires et étamines, tirés des bourgeons clos, donnèrent à la calcination des vapeurs très-alcalines.

Le 28 avril suivant, les ovules gélatiniformes dégageaient des gaz ammoniacaux, mais leurs téguments donnaient des vapeurs acides.

Poirier (*pyrus communis*). Le 16 février 1835, les organes des fleurs, pris dans l'intérieur des bourgeons fructifères, séchés et calcinés, donnèrent des vapeurs ammoniacales.

Les fleurs étant épanouies, les pétales donnaient à la calcination des gaz acides; il en fut de même relativement aux pétales des fleurs épanouies des pommiers et des cognassiers.

Le 5 mai, les pepins peu consistants, blanchâtres, longs de deux millimètres, de poires *nouées* depuis peu, dégageaient des vapeurs très-ammoniacales; au mois de septembre, les radicules et les gemmules des amandes développaient des vapeurs fort alcalines.

Cormier (*sorbus domestica*). Les radicules et gemmules des graines, à peine mûres, donnèrent à la calcination des vapeurs très-alcalines.

Ronces (*rubus fruticosus*). Sur des ronces venues dans un sol aride, inculte, les organes de la floraison, extraits de très-jeunes boutons clos, dégagèrent des vapeurs alcalines, tandis que leurs enveloppes donnaient des gaz acides. Dans les boutons à fleurs près de s'épanouir, les pétales roses, tous les organes intérieurs

ainsi que leurs enveloppes, dégageaient des gaz à réaction très-acide.

Roses (*rosa damascena*). Dans des boutons à fleurs clos, tous les pétales donnaient des gaz acides, mais les stigmates et étamines dégageaient, par leur décomposition au feu, des vapeurs ammoniacales.

Ampélidées. — Vigne (*vitis vinifera*). Le 13 mars on excisa de l'intérieur d'un bourgeon tous les organes de la floraison réunis sur une grappe rudimentaire : ainsi débarassés de tout ce qui les enveloppait, desséchés et calcinés, ils dégagèrent des vapeurs ammoniacales; leurs enveloppes donnaient des gaz acides. Le 20 mars suivant, les mêmes organes, enlevés de l'intérieur d'un bourgeon, dont le volume était augmenté par un commencement de végétation, offrirent les mêmes résultats; quelques folioles rudimentaires blanchâtres, d'un millimètre et demi à deux millimètres, prises au-dessous et autour des organes fructifères, donnèrent également des vapeurs très-alcalines.

Dans le mois de mai, des folioles verdâtres, d'un à deux millimètres, prises à l'extrémité des jeunes pousses, donnèrent des produits volatils, tantôt légèrement acides, tantôt neutres ou alcalins, suivant qu'elles étaient plus ou moins avancées.

Le 8 juin, les ovaires et organes floraux de fleurs entr'ouvertes donnaient des vapeurs neutres ou légèrement alcalines; closes et calcinées avec leurs enveloppes, elles exhalaient des produits acides.

Le 10 juin, tous les organes intérieurs d'un bouton à fleur clos, extraits sur une variété de gros raisin rouge tardive, dégagèrent des vapeurs alcalines; les enveloppes donnaient des produits volatils acides.

Le 20 juin, des ovules ayant un millimètre de longueur, extraits de jeunes fruits et desséchés, développèrent à la calcination des vapeurs ammoniacales.

Cupulifères. — La radicule et la plumule d'une châtaigne, dont le tégument était encore blanchâtre, donnèrent des vapeurs alcalines.

Toutes les autres parties enveloppantes, plus anciennement formées, donnaient des produits acides.

Je suis parvenu à constater ainsi, sur un très-grand nombre d'espèces des différentes familles, que, « dès qu'on les peut isoler, « et plus ou moins longtemps avant qu'ils soient propres à la « reproduction, les stigmates, les anthères et leurs supports con- « tiennent une telle proportion d'azote, que les produits de leur « décomposition en vase clos, par l'élévation de la température, « contiennent une dose d'ammoniaque suffisante pour saturer les « produits acides, qui se forment simultanément aussi, et même « pour se manifester en excès aux réactifs qu'on leur présente.

« Ces phénomènes varient graduellement avec l'âge et les dé- « veloppements des organes précités : ainsi, à l'époque où l'on peut « isoler le pollen, celui-ci offre les réactions ci-dessus indiquées, « tandis que l'anthère, et plus encore le filet, offrent des propor- « tions tellement décroissantes de substances azotées, que souvent « une réaction acide domine dans les produits volatils de leur « décomposition.

« Il en est de même des stigmates relativement au style. Ces « différences sont plus marquées encore dans les enveloppes flo- « rales plus développées, et à plus forte raison dans les bractées, « les feuilles et les pédoncules.

« En suivant toujours les progrès des organes de la reproduc- « tion, on observe que, dans l'ovaire, les principes immédiats non « azotés, font déjà dominer la réaction acide, tandis que les ovules « dégagent encore, par leur décomposition, des vapeurs alcalines.

« Les ovules subissent à leur tour la même loi en achevant « leur transformation en graines : ainsi leurs téguments perdent « les premiers la faculté de donner à la distillation des vapeurs « ammoniacales en excès, tandis que l'embryon l'a conservée; « celui-ci varie bientôt à son tour dans ses différentes parties, « mais d'une manière moins sensible, et qui arrive promptement « à son terme dès que l'organisation y reste stationnaire.

« Le plus généralement, dans les graines, les cotyledons, en rai-

« son des principes immédiats qu'ils renferment, développent des « gaz acides par leur décomposition rapide, tandis que les corps « radicellaires et les gemmules dégagent des vapeurs ammonia- « cales.

« Lorsque ces dernières parties de l'embryon sont très-consis- « tantes, l'enveloppe et la tigelle peuvent donner des produits à « réaction acide, et l'extrémité découverte de la radicule dégager « au contraire des vapeurs alcalines. »

L'examen attentif des bourgeons qui ne contiennent que des feuilles présentait, comme nous l'avons dit, plus de difficultés, mais enfin il conduisit aux mêmes résultats : c'est-à-dire que « les feuilles et l'extrémité des tiges le plus récemment for- « mées, n'ayant que très-peu reçu l'influence de l'air et de « la lumière, sont d'une très-faible consistance, incolores, ou « à peine colorées; ces parties naissantes contiennent alors une « assez forte proportion de substances azotées, pour développer « directement, à la calcination, des produits gazeux à réaction « alcaline.

« Tous ces faits ont été reproduits, en soumettant à des épreuves « semblables les diverses parties récemment formées des plantes « grêles, venues dans des sols arides et des terres incultes, en « France et sur les montagnes de la Toscane. »

Puisque, sous tant de formes différentes, tous les organes des végétaux sont formés en présence d'une grande proportion de substances azotées, il me parut probable qu'il en devrait être de même d'un tissu d'un assemblage quelconque d'utricules, et que, pour le démontrer, il suffirait d'isoler, très-peu de temps après sa formation, ce produit de l'organisme, des tissus plus anciens et des principes immédiats étrangers, ou encore le fluide alimentaire arrêté dans son mouvement. Voici à cet égard une des expériences qu'il est le plus facile de répéter, et à laquelle je fus conduit en cherchant à surprendre les éléments de l'organisation d'un tissu dans une masse, le moins possible chargée de ligneux et d'autres principes immédiats, bien que douée d'une

puissance d'accroissement rapide, semblable à ces jeunes tissus nés du cambium, étudiés sous le rapport physiologique par M. de Mirbel.

Un concombre blanchâtre (*cucumis sativus*), volumineux déjà, mais se développant encore, fut coupé en deux par un plan perpendiculaire à son axe : on vit aussitôt un fluide mucilagineux sortir par ses vaisseaux, puis acquérir une consistance gélatineuse : ces protubérances arrondies furent enlevées avec soin sans entamer le tissu sous-jacent; desséchées puis chauffées dans un tube, elles dégagèrent d'abondantes vapeurs ammoniacales; elles offrent donc la même composition chimique que les divers organes à l'état naissant de tous les végétaux.

La pellicule dure du concombre, ainsi que le tissu celluleux pris au milieu de la masse du sarcocarpe, donnaient des vapeurs acides.

En réfléchissant sur les causes d'une composition aussi constante, je fus porté à croire que les liquides puisés dans le sol, et conduits au travers des couches ligneuses vers les bourgeons des arbres, pour commencer leurs développements, devaient dans l'état normal offrir généralement encore une composition semblable.

Un exemple fera bien comprendre ici par quel ordre de moyens j'ai vérifié cette vue.

Le 5 juin 1836, une forte branche de sureau (*sambucus nigra*) ayant soixante et quinze millimètres de diamètre moyen, coupée sur une longueur de quatre-vingts centimètres, fut ainsi disposée dans la vue d'en extraire les matières contenues dans les conduits de la sève montante : le bout le moins gros, qui sur la plante était le plus élevé, fut taillé en pointe; le bout opposé, taillé net par un plan perpendiculaire à l'axe, fut entouré d'une lamelle en plomb lutée avec du caout-chouc, puis dirigé en haut; on versa dans le petit vase formé de cette manière un décilitre d'eau distillée : en moins d'une minute, le liquide séveux déplacé commença à s'écouler *guttatim* vers le bout conique infé-

rieur et fut recueilli; il était sensiblement incolore, diaphane, doué d'une légère réaction acide; rapidement évaporé dans le vide il laissa un résidu sec, peu hygroscopique; celui-ci calciné dégageait des vapeurs abondantes en carbonate d'ammoniaque et laissait un charbon non boursouflé.

Afin de rechercher si les sucs alimentaires dont le tissu médullaire très-volumineux est gorgé dans les très-jeunes tiges encore peu consistantes du sureau, ce tissu isolé de son enveloppe ligneuse fut soumis à une forte pression : desséché et calciné, il développa effectivement des gaz à réaction alcaline. Le tissu, exprimé, épuisé de toute matière azotée et des sels par des solutions faibles de soude, d'acide chlorhydrique et de l'eau, à chaud et à froid, puis séché à cent degrés dans le vide sec, offrit à l'analyse la composition du tissu végétal.

En répétant l'essai relatif aux matériaux de la séve sur une tige rameuse d'un chêne (*quercus robur*) venu dans un terrain sableux, toutes circonstances que j'avais à dessein choisies, j'obtins d'abord, par une filtration d'eau dans la tige et dans les branches, un produit dont la décomposition, après l'évaporation à siccité, donnait une réaction acide; je supposai que les sections faites à l'écorce et au bois avaient mis à nu du tanin, qui, arrêtant une partie des substances azotées, s'était mêlé lui-même au liquide; en effet, après avoir lavé toutes les sections par lesquelles le liquide sortait des branches, afin d'enlever le tanin que les coupures des vaisseaux propres avaient mis à nu, le liquide séveux déplacé donna, par le rapprochement et la calcination, des vapeurs alcalines.

Le 20 avril 1835, avant le développement des feuilles, la séve montante du mûrier noir, légèrement acide au tournesol, fut desséchée dans le vide. Ce résidu calciné dégagea des vapeurs ammoniacales.

La séve montante d'un figuier (*ficus carica*), traitée le 30 mars comme celle du mûrier, donna lieu aux mêmes phénomènes.

Le 2 avril suivant, la séve montante d'un tilleul, traitée comme

nous l'avons dit plus haut, donna un résidu développant des vapeurs ammoniacales.

Une branche d'un érable suc (*acer saccharinum*) ayant un centimètre de diamètre moyen fut disposée, le 10 mai 1836, de façon à en extraire la sève ascendante; celle-ci, sensiblement acide, fut abandonnée quatre jours aux réactions spontanées. La vapeur au-dessus du liquide, ainsi que le liquide lui-même, étaient devenus alcalins. Évaporé, desséché, son résidu donnait à la calcination des gaz à forte réaction alcaline.

Une branche de peuplier (*populus nigra*) ayant douze millimètres de diamètre moyen sur une longueur d'un mètre trente centimètres, traitée de façon à en extraire la sève ascendante, que l'on fractionna en deux parties, donna d'abord trente-cinq grammes de liquide légèrement acide qui, évaporé, séché, calciné, développa des vapeurs alcalines. Le deuxième liquide, pesant vingt-cinq grammes, obtenu d'une deuxième filtration dans les conduits séveux, traité de même, donna un résidu dégageant aussi, par sa décomposition rapide, des gaz alcalins.

A la fin du mois d'avril, la séve ascendante d'une branche de noyer évaporée, desséchée, laissa un résidu donnant à la calcination des vapeurs ammoniacales.

La séve montante extraite d'une tige d'*aylanthus glandulosa.* était légèrement acide; abandonnée pendant quatre jours, elle prit une réaction alcaline; rapprochée à siccité, son résidu donna, par la calcination, des vapeurs alcalines.

Le 14 septembre suivant, la séve montante d'une branche de pêcher avait une légère réaction acide; elle se putréfia et devint alcaline en la rapprochant, puis donna des vapeurs ammoniacales à la calcination.

La séve ascendante, extraite d'une branche de prunier, laissa, par évaporation, un résidu qui, desséché, était fort hygroscopique; calciné, il donna des vapeurs ammoniacales.

Le 21 du mois de mars, quarante centimètres cubes de séve montante, recueillis directement par l'écoulement spontané à

l'extrémité des branches de vigne coupées et recourbées, présentèrent une légère réaction acide; rapprochés par l'ébullition, il se produisit un coagulum albuminiforme très-azoté; le résidu de l'évaporation complète était sensiblement salé, acide et sucré; il avait acquis une odeur de bouillon; desséché alors et calciné, il développa d'abondantes vapeurs ammoniacales et laissa un charbon boursouflé.

Ainsi toute la sève poussée des racines vers les tiges, malgré la présence d'un acide libre, du sucre et d'une substance gommeuse, constatés par les réactifs et la fermentation, contenait assez de matières riches en azote pour que les vapeurs ammoniacales, saturant tous les produits acides, se manifestassent encore en excès.

Dans tous ces fluides séveux il y a deux matières azotées, ou du moins cette substance y affecte deux états; il importait de savoir si une troisième modification de la matière la retenait en partie adhérente aux conduits et dans les tissus; cette conjecture fut vérifiée en faisant succéder à l'eau pure des solutions de plusieurs réactifs, et notamment du tanin et du protonitrate de mercure; les mêmes moyens ont démontré la présence de la substance azotée adhérente, quoique douée d'une très-faible cohésion, dans les tissus vasculaires des racines.

Ainsi donc, non-seulement les liquides nourriciers qui s'élèvent des extrémités radicellaires jusques aux dernières limites des parties aériennes des plantes, charrient en fortes proportions une matière très-azotée et l'accumulent dans tous les organes naissants, mais encore ils la déposent sur toute l'étendue des conduits qu'ils parcourent.

La substance azotée constitue-t-elle seule, ou associée à d'autres, des membranes, des utricules, des tissus.

Dans les divers organes des nombreuses espèces examinées sous ce rapport, ainsi que dans les parties ligneuses des plantes, je suis parvenu à dissoudre par les alcalis et éliminer cette matière, en laissant intacts les parois des tissus, sans même y opérer la moindre

déchirure perceptible au microscope; ainsi donc les matières azotées accompagnent partout et en proportions notables les très-jeunes tissus végétaux, mais n'en font point partie intégrante.

Nous avons vu que, par suite de la germination, les développements qui ont lieu aux dépens des substances nutritives accumulées dans les cotylédons, les périspermes et endospermes, assimilent et enlèvent aux graines ainsi graduellement épuisées, des proportions plus fortes des matières azotées que de la substance non azotée.

Cette première nutrition directe n'a lieu toutefois que jusques au moment où les graines réduites à leurs téguments propres et aux débris des tissus non assimilables, cèdent peu à peu aux influences désorganisatrices extérieures, se désagrégent et se décomposent en gaz, solutions et résidus, non assimilés, exclusivement du moins, par la plante issue de la graine.

Il en est de même de toutes les parties superficielles des plantes jeunes et vieilles, que les altérations diverses de la part d'agents extérieurs privent de vitalité.

Lorsque ces phénomènes se passent à l'abri de la lumière et hors des influences des émanations aériennes azotées, les développements plus ou moins considérables dus à la substance nutritive de la graine n'offrent jamais que des transformations avec une perte de substance qui s'élève depuis 11 jusques à 23 pour 100 du poids primitif.

Si après la germination, la végétation a lieu dans les mêmes circonstances, mais avec le concours de la lumière, les parties aériennes verdissent, décomposent l'acide carbonique de l'air, réparent tout ou partie de leurs pertes en poids, peuvent même dépasser le poids primitif; mais cette compensation est loin d'avoir toute l'importance que sa quantité indiquerait, car elle s'arrête lorsque la matière azotée manque, et celle-ci se répare bien plus difficilement que l'autre, si tant est qu'elle se puisse réparer dans de l'air atmosphérique, exempt de toute combinaison de l'azote, gazeuse ou tenue en suspension. Ces faits ont

été observés en pesant les graines, constatant la proportion d'eau qu'elles contenaient, les soumettant, soit à la germination, soit à une végétation prolongée, dans une cloche où l'air ne pouvait se renouveler qu'en traversant d'abord un long tube contenant de l'asbeste mouillée par de l'acide sulfurique étendu, et constatant le poids des graines et de leurs extensions radicellaires et foliacées à plusieurs époques de ces développements.

Les substances azotées qui, fournies par le sol, président à tous les développements végétaux, sont loin de suffire aux maxima des produits à récolter : pour ceux-ci les quantités varient et dépendent surtout des quantités d'azote contenues dans chacune des plantes cultivées; elles varient aussi, suivant que la plante doit être récoltée à certaines époques de son développement, avant ou après la formation de ses graines; elle dépend encore de la nature et de la proportion des débris de la végétation abandonnés sur le sol.

C'est ainsi que les pins et autres conifères, les vignes, plusieurs polygonées, etc. exigent le moins sous ce rapport, tandis que plusieurs espèce de choux, de solanées, de cucurbitacées, consomment le plus.

« Outre les développements théoriques sur la nutrition des vé-
« gétaux et l'appréciation rationnelle des substances azotées, utiles
« aux différentes cultures, » conséquences naturelles des phénomènes dont je viens d'exposer une description succinte, il est facile de voir que l'on sera conduit par ces résultats à des « appli-
« cations théoriques et pratiques relatives aux bois; à démontrer,
« par exemple, que la plupart des agents de la conservation des
« matières animales préservent le mieux ceux-ci de diverses alté-
« rations graves; à reconnaître la principale origine de l'azote
« trouvé dans les produits volatils de leur distillation, ainsi que
« dans les tourbes, les lignites et les houilles; à concevoir les
« procédés de blanchiment et d'épuration de la substance li-
« gneuse textile, par les alcalis qui dissolvent la matière azotée;
« à démontrer les influences défavorables sur la végétation de cer-

« tains débris des plantes, après qu'une première réaction a dégagé « la plus grande partie des produits azotés de la putréfaction, et « les moyens efficaces d'améliorer, par l'addition des débris ani- « maux, ou des bases alcalines, les terrains tourbeux, les terreaux « et terres de bruyères épuisés : tel est l'un des rôles importants « de la soude, de la chaux et de la potasse dans l'agriculture. »

J'ai cru devoir réunir en un tableau synoptique le résumé des analyses élémentaires qui confirment, en les montrant sous une nouvelle forme, les résultats des expériences consignées dans ce mémoire :

DÉNOMINATION des SUBSTANCES ANALYSÉES.	POIDS de la substance employée.	VOLUME de l'azote.	TEMPÉRATURE.	PRESSION.	CENDRES de la substance sèche.	EAU dans la substance normale.	AZOTE dans la substance normale.	AZOTE dans la substance sèche brute.	AZOTE de la matière organique pure.	COEFF. AZOTES dans la matière organique pure.
	m.	cc.			(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Choux-fleur (bourgeons blancs).	666	62	21,5	76,4	11	90,7	0,991	10,66	11,97	71,82
Champignons de couches.....	511	35,25	12	77,8	14	95	0,449	8,989	9,787	58,722
Ovules du pisum sativum [1]	845,5	54,5	17	76,42	5,5	83,2	1,260	7,519	7,95	47,70
Séve de bouleau [2].....	701	33	18	76,7	31	99,979	0,00001	5,5	7,91	47,46
Séve du pin laricio.....	480	22,5	15	76,4	25,83	99,645	0,00015	4,37	5,89	35,34
Radicelles d'orge germé.....	897	38	15,5	75,1	8	90	0,490	4,904	5,33	31,98
(Limbe) feuilles d'acacia.....	1,495	62,5	13,8	76,3	11,38	63,7	1,500	4,397	4,961	29,76
Conferva rivularis.....	641	22,5	17,5	75,6	17,66	7,10	3,764	4,051	4,919	29,51
Graines de lupin.....	806	27,6	12,85	76,25	3,3	10,5	3,489	4,351	4,500	27
(Limbe) feuilles de mûrier [3]...	765	27,5	13	76,30	15,56	72,1	1,000	3,606	4,270	25,62
Ovules de marronnier [4].....	764,4	26	20,1	76,4	5,20	84,83	0,470	3,100	3,803	22,82
Fleurs de vigne [5].....	827	22	19,2	76,70	8	81,4	0,571	3,071	3,338	20,03
Fucus saccharinus.....	1,170	32	13	75,5	28,6	76,5	0,539	2,290	3,212	19,26
Asperges [6].....	754	18	15	76,4	10	93	0,190	2,812	3,124	18,74
(Pétioles) feuilles du mûrier...	835,6	18,5	18	76,40	12	84,53	0,395	2,560	2,80	16,8
Feuilles de bruyère.....	1,082	18	11	76,3	4,75	60	0,758	1,897	1,991	11,94
Bois de chêne [7].....	1,485	9	7	75,9	0,3	44	0,406	0,725	0,727	4,362
Bois d'acacia.....	1,021	2,75	18	76,2	0,4	45	0,171	0,311	0,312	1,872
Bois de sapin.....	1,098	2	14	76,7	0,8	48	0,111	0,215	0,216	1,296

(a) Tous les nombres des six dernières colonnes s'appliquent à 100 parties en poids de chaque substance.

[1] Très-jeunes, ayant la grosseur des plus petits pois comestibles, et avant l'époque où la matière amylacée est sécrétée dans les cotylédons.

[2] Toutes les séves dont il est ici question ont été extraites par déplacement, en faisant filtrer de l'eau distillée au travers des tiges ou des rameaux.

[3] Ces feuilles du mûrier noir, dont les pétioles et limbes ont été analysés séparément, étaient bien développées et avaient été cueillies le 10 juin.

[4] *Æsculus hippocastanum*. Extraits des fruits le 1er juin, ces ovules avaient de quatre à cinq millimètres de diamètre.

[5] Boutons clos extraits d'une grappe le 4 juin.

[6] On prit pour l'analyse le bout des turions blanchâtres coupés sous terre à cinq centimètres de longueur.

[7] Ces bois étaient débités depuis longtemps.

Afin de mieux faire ressortir les différences de composition entre les substances analysées, j'ai établi dans la neuvième colonne la comparaison sur la matière organique pure, éliminant les variations dues aux substances minérales et à l'eau interposée.

Les faits deviennent plus faciles encore à apprécier en examinant la dixième colonne, où la comparaison porte sur le poids des corps azotés contenus dans cent parties de la substance organique.

Ces dernières relations supposent 0,1666 d'azote dans les corps azotés que renferment les tissus végétaux, ce qui se rapproche des données relatives à la composition du gluten, de l'albumine végétale et encore de la substance qui constitue divers animaux, poissons et insectes.

On remarquera les fortes proportions de la matière azotée renfermées dans les organes de la floraison et de la fructification dans les radicelles et dans l'un des champignons comestibles dont la croissance est le plus rapide; on voit que, dans son ensemble, le *fucus saccharinus* est abondant en corps azotés, tandis que les parties distinctes des végétaux phanérogames offrent entre elles de grandes différences sous ce rapport. En effet, les masses ligneuses contiennent de faibles proportions de substances azotées, tandis que les feuilles en renferment des quantités de cinq à dix fois plus considérables; et celles-ci, plus dans leurs limbes que dans leurs pétioles et nervures.

Enfin si l'on compare entre eux tous les résultats indiqués dans la dixième colonne de ce tableau, on restera frappé de l'importance des proportions des corps azotés dans les organes très-jeunes des plantes, et en général dans leurs parties douées d'une vitalité énergique. On sera disposé, peut-être alors, à se faire une idée plus grande et plus exacte du rôle dévolu à ces corps, qui forment de 12 jusqu'à 70 pour 100 du poids des organes végétaux, qui, d'ailleurs, ont une composition analogue à celle de l'immense variété des êtres doués de la vie animale.

CONCLUSIONS.

Le mémoire qui précède démontre :

1° Le genre d'action que le tanin peut exercer sur les radicelles, en se combinant avec leur matière azotée;

2° La présence, les états physiques et les proportions des corps azotés dans les organes et la sève des plantes;

3° L'importance du rôle que doivent jouer, dans le développement des végétaux, ces corps, d'autant plus abondants, que les organes sont plus jeunes et doués d'une vitalité plus grande;

4° La nécessité de déposer dans le sol les matières azotées qui doivent accomplir cette partie de la nutrition végétale;

5° La possibilité d'apprécier la valeur des engrais riches par le dosage de la matière azotée[1];

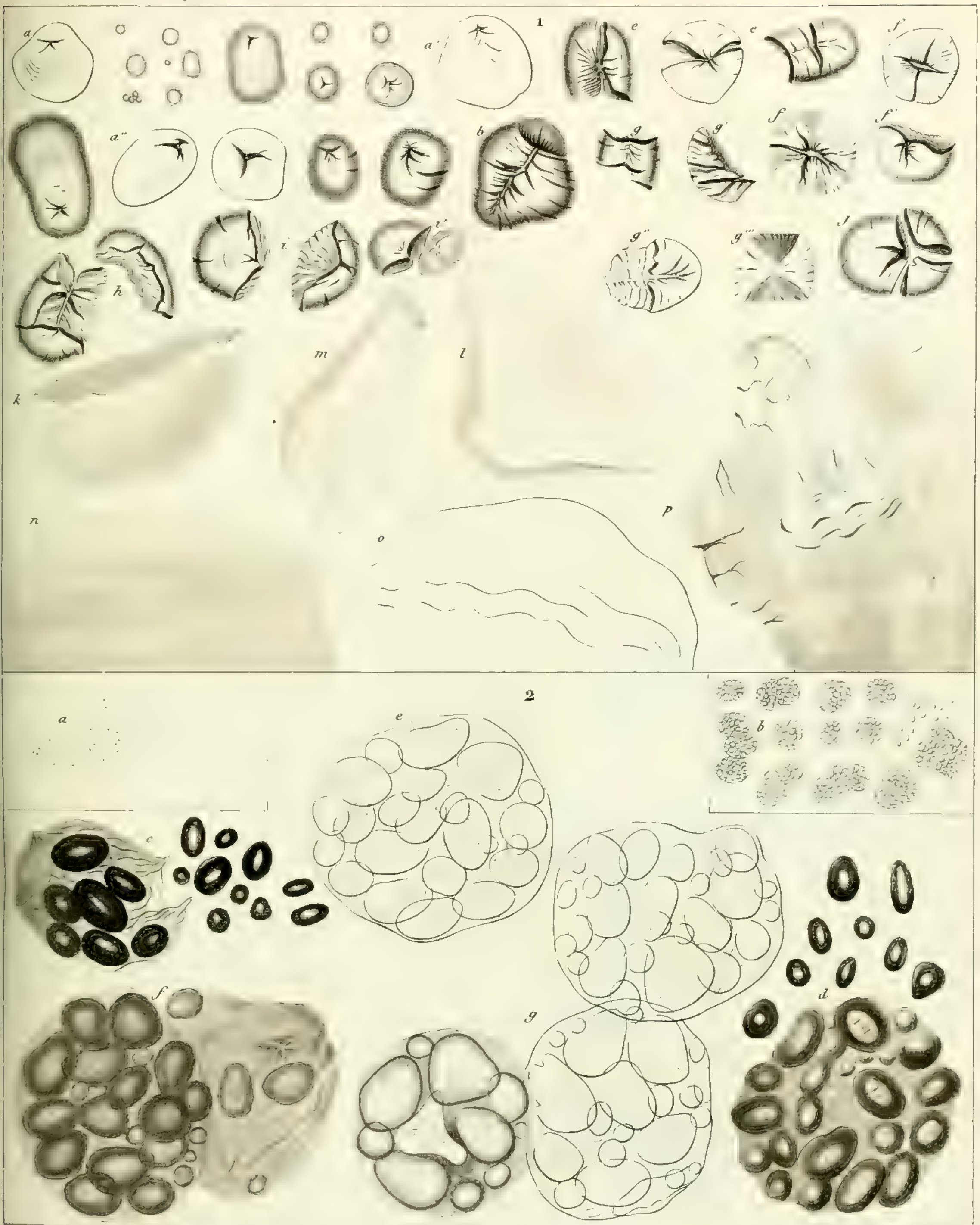
6° Dans l'altérabilité de la même substance, la cause principale des altérations des bois, et l'ordre des moyens à employer pour prévenir ces altérations;

7° La distinction qu'il paraît convenable d'établir entre les substances azotées renfermées dans les cellules ou les vaisseaux des plantes et les membranes végétales qui constituent ces cellules et vaisseaux.

Il reste à déterminer les propriétés et la composition chimique de ces membranes : tel sera l'objet de mes nouvelles recherches; plusieurs analogies entrevues durant ce travail me porteront à diriger d'abord mes investigations vers l'étude approfondie de la substance amylacée.

[1] En 1830, j'avais indiqué ce mode d'évaluation dans le grand Dictionnaire technologique, tom. XVII, p. 414 et 415.

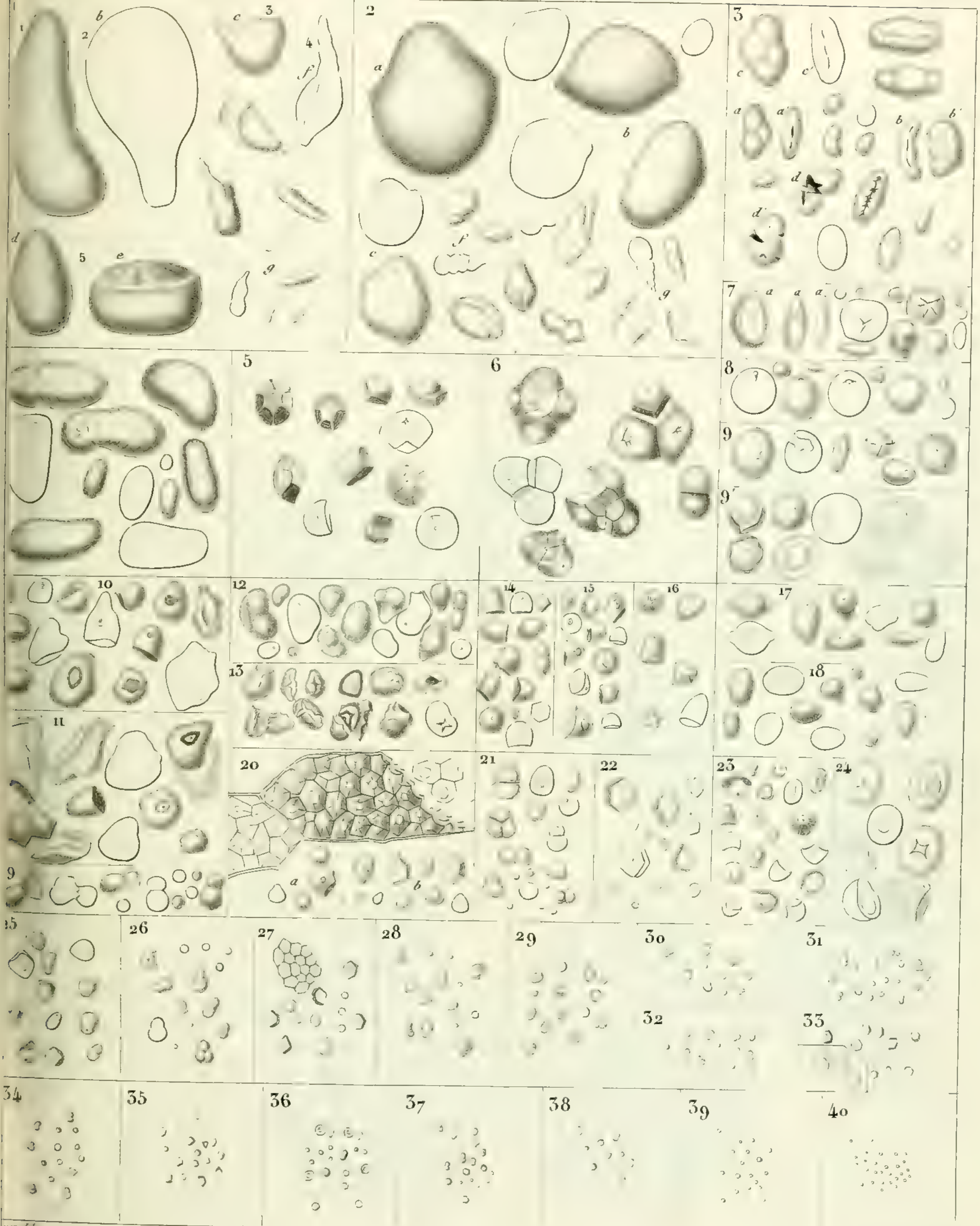
1
2
3
4
5 10
10 centièmes de m/m grossis 200 fois



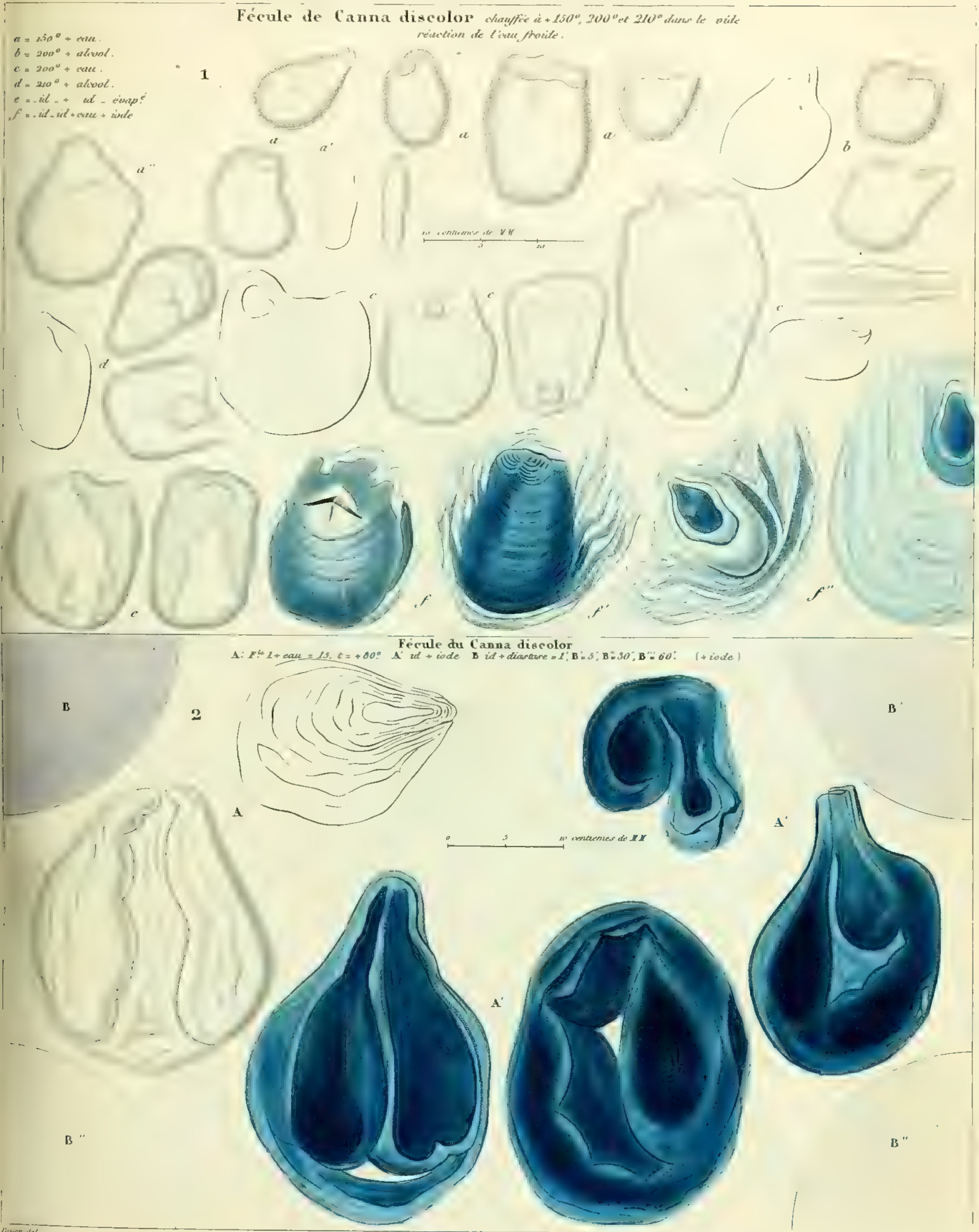
Payen del

Borromée dir

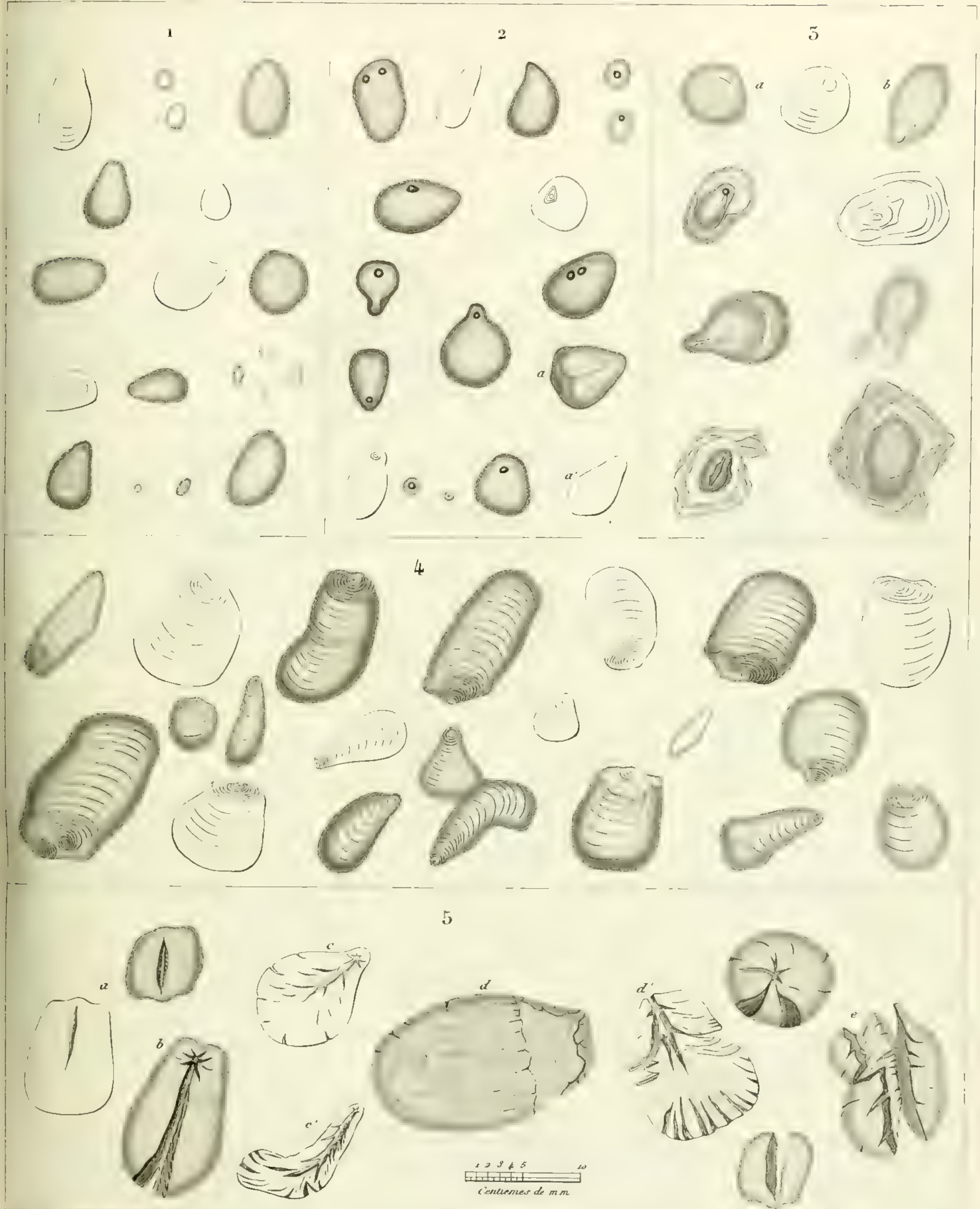
Eigen del. Barronier dir.



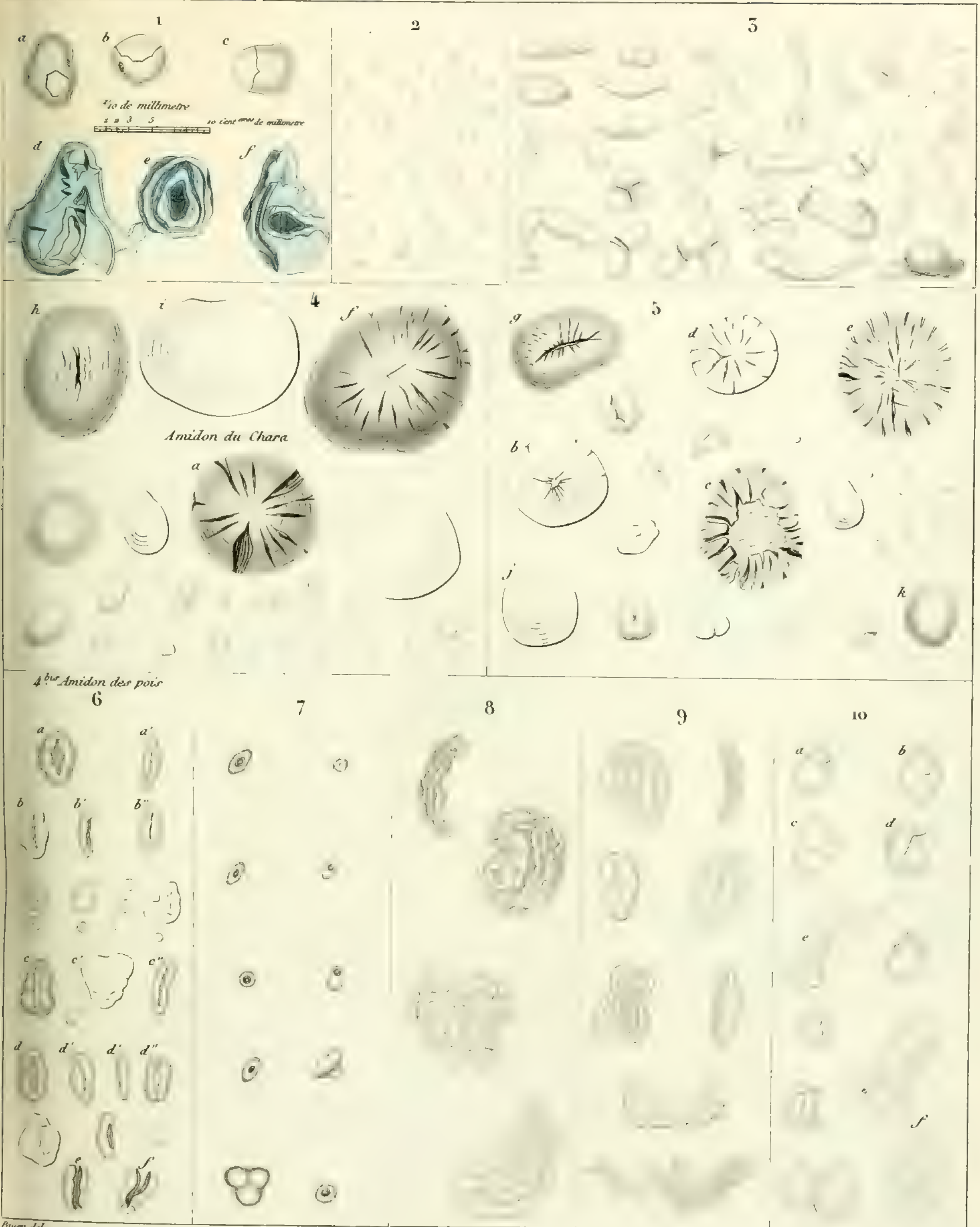
...un del. Borromée dir.



[illegible] del. Barromée sc.



Payen del. Borromée dir.



Payen del. Borromée dir.

Amidon

contenu dans le

Pollen.

1. Grains de Pollen du Ruppia maritima.

2. Pollen du Naïas major.

7. Pollen du Globba nutans.

Meyen del. Borromee dir

MÉMOIRE

SUR

L'AMIDON, LA DEXTRINE ET LA DIASTASE,

CONSIDÉRÉS

SOUS LES POINTS DE VUE ANATOMIQUE, CHIMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE,

ACCOMPAGNÉ DE FIGURES;

PAR M. PAYEN.

Depuis l'observation fondamentale de Leeuwenhoeck, l'étude de l'amidon a souvent touché aux points les plus élevés, aux questions les plus délicates de l'organographie, de la physiologie végétale et de la chimie organique; elle ouvre une carrière nouvelle aux efforts combinés de ces trois sciences, et prouve dejà, par d'immenses applications, que leurs procédés les plus exacts, les discussions les plus approfondies, n'ont rien de superflu à son égard.

Si l'on admet avec moi que la substance organique composant toutes les fécules amylacées possède de nombreuses propriétés physiques et chimiques, qui ne sauraient être les attributs ni des corps cristallisables, ni des substances enchaînées dans une organisation définitive; que, placée près des limites, entre les corps organisables et les véritables organes des êtres vivants, elle participe des deux natures, laisse apercevoir plusieurs degrés de ses transformations, tantôt vers l'un, tantôt vers l'autre de ces

deux états de la matière organique; que, partout où elle surabonde, placée en réserve pour fournir à de nouveaux développements, elle peut accomplir cette destinée sans exiger, comme le ligneux, pour devenir assimilable, de si profondes altérations qu'elles détruisent tout le tissu végétal en contiguïté; si on se la représente, au contraire, spontanément dissoluble à l'aide de transformations mécaniques et chimiques graduées, dont je crois être parvenu à comprendre, à expliquer les curieux phénomènes, alors, dis-je, on comprendra tout l'intérêt scientifique qui m'a paru s'attacher à ce travail.

Je rappellerai d'abord les principaux faits antérieurement publiés par différents auteurs.

RÉSUMÉ HISTORIQUE DES FAITS OBSERVÉS ET DES OPINIONS ÉMISES RELATIVEMENT À LA NATURE ET AUX CHANGEMENTS DE L'AMIDON.

1° Les anciens chimistes de l'école de Stahl avaient extrait de l'amidon, par la chaleur, du gaz inflammable, de l'huile et du charbon; ils n'eurent d'ailleurs aucune idée nette sur sa composition ni sur ses formes.

2° Les premières observations microscopiques faites par Leeuwenhoeck, il y a 120 ans, signalèrent la forme globuleuse des grains de la fécule et l'inégale résistance à l'eau bouillante de leurs parties internes et externes[1].

3° En 1785, le docteur Irvine indiqua la saccharification de la farine par le malt (Accum).

4° Vauquelin fit connaître, en 1811, la propriété que l'amidon possède d'être rendu soluble par une légère torréfaction; mais il ne détermina pas les résultats chimiques de cette réaction, ni les termes de la température auxquels on peut l'opérer. Bouillon Lagrange conseilla plusieurs applications de l'amidon torréfié pour remplacer la gomme dans l'encre et la teinture en

[1] « Antonii Leeuwenhoeck, regiæ quæ Londini est societatis collegæ, epistolæ physiologicæ, super compluribus naturæ arcanis.... Delphis, apud Adrianum Beman, 1719, p. 232.

noir. (*Bulletin de pharm.* t. III, p. 54, 216 et 395, et *Ann. de chimie*, t. XXXVIII, p. 248.)

5° En 1812, Kirchoff découvrit la conversion de l'amidon en sucre par l'acide sulfurique étendu. (MM. Vogel, Delarive, Biot, Persoz et Guérin-Vary déterminèrent ultérieurement les produits de cette réaction.) (*Journal de pharm.* t. II, p. 250.)

6° Kirchoff décrivit en 1816 des réactions spontanées qui, sous l'influence du gluten, altèrent l'amidon et le transforment partiellement en matière gommeuse et en sucre. (*Journal de pharm.* t. II, p. 250.) M. de Dombasle publia les résultats de ses expériences en grand à cet égard. (*Ann. de chim. et de phys.* t. XIII, p. 284.)

7° M. de Saussure, en 1818, conclut de ses expériences sur l'empois abandonné à l'air, que l'amidon se convertit spontanément en sucre et en quatre autres matières. (*Ann. de chim. et de phys.* t. II, p. 387, et t. II, p. 379.)

8° Vogel annonça que le sucre d'amidon subit la fermentation alcoolique et ne retient pas d'acide sulfurique; que celui-ci n'est pas décomposé dans la réaction : mais il crut que, dans sa transformation en sucre, l'amidon perd de l'eau. (*Ann. de chim.* t. LXXXII, p. 148.)

9° MM. Thénard et Gay-Lussac donnèrent une analyse exacte de l'amidon hydraté (*Recherches physico-chimiques*); M. Berzelius le combinait ensuite dans le même état à l'oxyde de plomb. (*Ann. de chim.* t. XCV, p. 82.)

10° M. Couverchel observa, en 1819, l'effet des acides oxalique, tartrique, malique, qui opèrent les mêmes changements; MM. Henry et Plisson annoncèrent que l'acide quinique les produit aussi. (*Bibl. brit. sciences et arts*, t. VI, p. 333; *Journal de pharm.* t. VII, p. 269; *Savants étrangers*, t. III, p. 234; et *Ann. de chim. et phys.* t. LXI.)

11° M. Lassaigne, en 1819, vit que l'amidon torréfié est neutre et ne donne pas d'acide mucique; que sa solution est colorée en rouge par l'iode et dépose de l'iodure bleu. (*Journ. de pharm.* t. V, p. 300.)

12° En 1821, M. Couverchel a dit que l'amidon, exposé deux heures au bain d'huile, ne perd que de l'eau et laisse une matière peu colorée, ne différant de la gomme que par une plus forte proportion d'eau. M. Robiquet, en 1822 (*Dict. techn.* t. II, p. 435), afin de montrer toute l'importance d'une température constante dans certaines réactions, cita la conversion au bain-marie de l'amidon en matière soluble.

13° MM. Gauthier de Claubry et Collin firent connaître, en 1824, un caractère important de l'amidon : la belle couleur bleue ou violette qu'il acquiert en s'unissant à l'iode. (*Ann. de chim.* t. XC, p. 92.)

14° M. Pelletier ajouta des observations intéressantes au fait qui précède. (*Bull. de pharm.* t. VI, p. 289.)

15° De 1823 à 1830, M. Dubrunfaut fit de nombreuses observations sur la saccharification de la fécule par les *grains* germés, et ses applications aux arts des distillateurs et des brasseurs, à la préparation des sirops économiques; il chercha le principe actif de ces réactions, et crut l'avoir trouvé d'abord dans l'*hordéine*, puis ensuite dans le *gluten soluble*. Ses expériences sont consignées dans les Mémoires de la Société royale et centrale d'agriculture, pour 1823, p. 146, et numéros de mai et de septembre 1830 de l'Agriculteur manufacturier.

16° Des essais analogues à ceux de Leeuwenhoeck, mais poursuivis à l'aide de liquides, ou de températures dont l'action énergique trompa l'observateur, firent considérer la substance interne de l'amidon comme de la gomme, et la partie extérieure comme un tégument ligneux : ce fut un pas rétrograde qui eut une longue portée.

Les recherches et les conclusions de Leeuwenhoeck étaient presque oubliées, lorsque M. Raspail parvint à exciter vivement l'attention des chimistes et des physiologistes en publiant, de 1825 à 1830, une série de recherches sur les fécules : il mesura les dimensions, décrivit les formes de plusieurs d'entre elles, et chercha à démontrer leur structure et leur composition chi-

mique. Si la plupart de ses ingénieuses hypothèses ont dû céder à l'inflexible rigueur des faits plus profondément scrutés, la science ne lui sera pas moins reconnaissante de l'impulsion utile qu'elle lui dut en cette circonstance. (Voy. *Ann. des sciences naturelles* t. II, et *Journal des sciences d'observation*, t. III, p. 216.)

17° Un point marqué sur les grains de plusieurs fécules fut aperçu par M. Raspail et plusieurs micrographes; on le nomma *hile*, le supposant l'indice d'une attache à la paroi de la cellule; autour de lui on vit distinctement parfois des lignes excentriques considérées comme des plis ondulés : jusque-là on regardait d'ailleurs les grains de l'amidon comme des vésicules pleines d'une substance homogène, que l'on compara même à la gomme arabique.

18° Les réactions chimiques observées par plusieurs savants (MM. de Saussure, Chevreul, Guérin, Lassaigne, Guibourt, Caventou, Planche, etc.), ainsi qu'un phénomène optique, découvert par M. Biot, prouvèrent que cette dernière substance n'était point de la gomme proprement dite.

19° M. Th. de Saussure communiqua, le 21 mars 1833, à la Société de physiologie et d'histoire naturelle de Genève, des recherches sur la formation du sucre dans la germination du blé : il attribuait cette réaction à une matière azotée formant les quatre centièmes du gluten, et qui saccharifierait seulement quatre fois son poids d'amidon : il l'a nommée *mucine*.

20° La découverte de la diastase, que nous fîmes en avril 1833, M. Persoz et moi, jeta un nouveau jour sur ces transformations naturelles, par un principe actif qui change en dextrine et en sucre deux mille fois son poids d'amidon. (*Ann. de chim.* t. LIII, p. 73, et t. LVI, p. 337.)

21° En mars 1833, M. Biot venait de lire à l'Institut un mémoire sur une propriété moléculaire optique, appliquée à caractériser les produits de la dissolution et de la conversion en sucre de l'amidon par l'acide sulfurique, lorsque j'offris à ce savant de lui montrer des réactions analogues opérées sur la fécule par une solution végétale exempte de toute acidité comme d'alca-

linité au tournesol et au goût. M. Biot voulut bien, dès le lendemain, répéter avec moi l'expérience : il reconnut que les produits de la réaction instantanée n'étaient certainement pas du sucre, pour la plus grande partie du moins. L'accueil empressé que ma proposition avait reçue devint l'origine d'un travail que M. Persoz et moi nous entreprîmes, et de la découverte que nous fîmes bientôt après de la diastase.

22° M. Beudant, ayant remarqué le très-petit volume du résidu de la réaction en grand de la diastase, devina que la fécule n'avait pas de tégument d'une nature particulière.

23° M. Lassaigne observa, en 1833, le joli phénomène de la décoloration et de la coloration alternatives de l'iodure bleu d'amidon, par l'élévation et l'abaissement de la température (*Journ. de chim. médicale*, t. IX, p. 510); j'y ajoutai plusieurs faits prouvant la contractibilité du composé bleu et sa précipitation par le froid, les acides et les sels neutres. (Même volume, p. 573, 635, 638; et *Ann. de chim.* t. LVI, p. 350.)

24° M. Caventou, puis M. Guibourt, chacun de leur côté, furent portés par plusieurs observations à considérer toute la substance de l'amidon comme un seul principe immédiat.

25° M. Turpin a fait observer que les plus petits grains de la fécule de pomme de terre sont sphériques, comme plus nouvellement nés; que sur les plus gros, irréguliers, on distingue clairement le hile; il a décrit et figuré les zones d'accroissement, plusieurs grains greffés deux à deux par approche, et M. Biot a trouvé jusqu'à trois grains entre-greffés ainsi. (*Ann. de chim.* t. LX, p. 46.)

26° M. Guérin détermina plusieurs circonstances de la réaction de la diastase, et fit connaître la composition du sucre qu'elle produit. (*Ann. de chim.* t. LX, p. 32.)

27° L'analyse et des apparences très-difficiles à discerner nettement firent croire à l'existence de trois corps différents dans chaque grain de fécule. (*Ann. de chim.*, t. LVI, p. 225.)

28° La composition, le poids atomique, les propriétés exten-

sibles et contractiles remarquables, furent alors reconnus identiques dans toute la masse féculente d'un grand nombre de fécules; je démontrai, en outre, les inégalités de cohésion dans les grains de différents âges, ainsi que dans la masse de chacun de ces grains en particulier; ces phénomènes indiquaient des couches superposées et une organisation spéciale; j'avais constaté l'identité chimique entre l'amidon et la dextrine, lorsque M. Dumas détermina la composition de cette dernière substance combinée anhydre; je reconnus ensuite le même poids atomique à la fécule. (*Ann. de chim. et de pharm.* t. LXI, p. 355, et t. LXV, p. 225.)

29° L'observation faite par M. Biot, dans le passage d'un rayon de lumière polarisée au travers d'un gros grain de fécule, lui permit d'annoncer dans ce grain une construction régulière et des couches d'inégales densités autour d'un axe, sans indiquer toutefois le mode d'arrangement ni la cause de la variation des densités.

30° M. Dutrochet, en constatant que l'amidon à l'état normal ne jouit pas d'un pouvoir d'endosmose sensible, a prouvé que ses grains ne contiennent aucune matière soluble directement à froid; il fit, ainsi que M. Dumas, des expériences microscopiques, que nous avons rapportées plus loin, sur l'action de la diastase.

31° De belles recherches microscopiques portèrent M. Fritzsche, à admettre dans les grains de l'amidon, des couches concentriques, dont il avait pu montrer, les apparences extérieures; on n'avait pas encore prouvé l'existence du hile lorsque l'on ne pouvait le discerner notamment sur les fécules des légumineuses et des graminées. (*Ann. de Poggendorff*, t. XXXII, p. 129.)

32° Parvenu à rompre un grand nombre de ses grains, je fis voir clairement que la masse intérieure de l'amidon est solide et insoluble dans l'eau froide.

A l'aide de plusieurs réactions nouvelles, je réussis à creuser et à évaser le hile même sur des fécules où il n'avait pas paru jusqu'alors, et à montrer les lignes des couches internes.

D'autres réactions déterminèrent enfin l'exfoliation des couches successivement enveloppantes, et je pus expliquer les inégales densités par les différentes proportions d'eau interposée dans les couches inégalement denses. Ces expériences répétées sur diverses fécules firent mieux apprécier leurs formes et les particularités de leur constitution; elles permirent de bien caractériser ainsi jusqu'aux granules amylacés que renferment les grains du pollen de plusieurs plantes aquatiques.

Alors aussi une foule d'anomalies apparentes disparurent; de nombreuses et importantes industries agricoles, et des applications économiques, furent créées, qui eurent pour base la connaissance exacte des propriétés physiques et chimiques de l'amidon; par suite enfin, je crois pouvoir l'espérer du moins, la physiologie végétale s'enrichira de notions nouvelles sur les phénomènes curieux de la formation, de la croissance et de la dissolution de la substance amylacée dans les tissus des végétaux; ces vues sont exposées, ainsi que les faits à l'appui, dans la troisième section de ce mémoire.

33° M. Pelouze a démontré que l'acide azotique se combine, équivalent à équivalent, avec l'amidon et forme ainsi la xyloïdine.

EXPOSÉ SOMMAIRE DES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DE L'AMIDON.

Une difficulté grave m'a longtemps arrêté dans la rédaction de ce mémoire : la voici, et voici comment je l'ai tournée ne pouvant la vaincre.

La description des formes et de la contexture des fécules devait précéder les autres données; mais, pour être entreprises avec succès, les nouvelles préparations microscopiques avaient dû être préalablement éclairées de toutes les lumières acquises à l'observateur par la détermination des propriétés de cette curieuse substance, de telle sorte que les phénomènes de rupture, d'expansibilité, de coloration, d'exfoliation et de dissolubilité, graduelles ou subites, sur le porte-objet ou dans les

actes de la végétation, fussent possibles à prévoir et permissent de diriger les observations, puis de discerner les véritables effets produits.

On admettra donc la nécessité où je me trouve conduit maintenant, pour me faire comprendre, d'exposer très-sommairement les conclusions principales des expériences successivement poursuivies, dans ces derniers temps, sur les propriétés et les réactions de la matière amylacée, avant de procéder à l'exposé méthodique qu'annonce le titre de ce mémoire.

Toute la substance de l'amidon est homogène dans sa composition et ses propriétés, sauf de légères différences de cohésion appréciables, et qui ont été mises à profit pour déterminer la structure intime ainsi que le mode de développement de l'amidon.

Ces différences peuvent être constatées, soit dans chaque grain d'une fécule quelconque, soit entre des fécules développées sous des influences diverses dans une même plante, soit enfin entre les fécules de végétaux différents.

L'amidon hydraté à chaud est dissous par la diastase, qui n'opère aucun effet de ce genre sur aucun corps connu. Cette propriété si caractéristique permet de reconnaître l'identité d'une substance qui affecte des formes si variables dans les diverses fécules amylacées.

L'amidon, dissous par la diastase comme par les acides, puis épuré du sucre que sa propre décomposition partielle a fait naître, est soluble dans l'eau froide et dans l'alcool étendu; à masse égale, sa solution dévie plus énergiquement à droite la lumière polarisée qu'aucune autre matière organique essayée : de là le nom de dextrine proposé par M. Biot et généralement adopté, qui désigna l'amidon devenu soluble dans l'eau froide sans que sa composition chimique fût changée.

Le sucre obtenu par une réaction complète de la diastase sur l'amidon est identique avec celui ou l'un de ceux qui peuvent résulter de la conversion du même corps par les acides.

L'amidon est désagrégé, puis rendu soluble, non-seulement par les acides et par la diastase, mais encore par une température convenable, qui, appliquée seule, opère même plus graduellement cet effet, suivant l'état d'agrégation des particules organiques et sans production de sucre; nous verrons comment ces propriétés facilitent l'exfoliation des couches d'accroissement.

La solubilité dans l'eau, obtenue par différentes voies, laisse à l'amidon son insolubilité dans l'alcool anhydre, et n'altère en rien sa composition élémentaire ni son poids atomique que nous ferons connaître plus loin.

Voici les propriétés qui (outre les réactions indiquées ci-dessus) caractérisent toute la substance amylacée à l'état normal : une insolubilité complète, directement et à froid, dans l'eau et dans l'alcool; une grande extensibilité et une contractibilité remarquables sous l'influence de plusieurs agents; la coloration bleue légèrement violette que lui fait acquérir la solution d'iode; l'augmentation et la prédominance de la couleur rouge dans cette combinaison, et sa plus grande instabilité suivant les progrès de la désagrégation des fécules; enfin la cessation de toute colorabilité par l'iode, dès que la désagrégation est portée au point d'offrir le maximum de solubilité à froid, c'est-à-dire le passage complet à l'état de dextrine.

L'amidon plus ou moins désagrégé se combine ainsi que la dextrine, et dans les mêmes proportions avec les bases; toutes les propriétés de la substance organique se retrouvent ensuite même avec les nuances dues à chacun des degrés d'atténuation de ses parties, lorsqu'on la dégage de son union aux bases; en cela elle se conduit de même que certains tissus de composition très-différente, la peau des animaux, par exemple, qui admettent certains corps en combinaison, comme le tanin, sans perdre leur structure.

L'eau peut être considérée comme remplissant les fonctions de base à l'égard de l'amidon et de la dextrine; elle est effectivement déplacée par une base plus énergique à l'aide d'une forte

dessiccation, ou peut rester combinée avec chacun des composants présentant alors l'union de deux hydrates.

Que l'on veuille bien admettre et se rappeler les faits ci-dessus, qui, d'ailleurs, seront démontrés plus loin, et l'on comprendra sans peine les moyens que j'ai mis en usage pour arriver à la connaissance positive de la structure intime des fécules.

DIMENSIONS, FORMES EXTÉRIEURES ET CONSTITUTION ORGANIQUE DES FÉCULES.

Les dimensions de plusieurs fécules ont été déterminées avec soin et exactitude, en 1825, par M. Raspail et par M. Dumas; cependant, comme j'en ai examiné un plus grand nombre, et que je me suis proposé de trouver les maxima en recherchant pour chaque plante les conditions de développement qui les produisent, j'ai cru devoir présenter ici, dans un tableau synoptique, les fécules rangées suivant l'ordre de leur plus grande longueur indiquée en millièmes de millimètre; quant aux dimensions les plus petites, on ne saurait les déterminer à des époques de développement assez précises pour que cela offrît beaucoup d'intérêt; pour d'autres, on arriverait, comme nous le dirons, à les observer en quelque sorte punctiformes ou sans grandeur appréciable dans les cellules où leur substance commence à s'organiser.

M. Raspail vient de donner, dans la dernière édition (1838) de son Système de chimie organique, les figures et dimensions des fécules de vingt plantes[1].

Neuf de celle-ci ont aussi fait l'objet de mes observations, parmi les quarante-neuf que j'ai décrites et figurées, planches I, II, III, IV, V, VI, VII et VIII.

[1] Elles y sont ainsi désignées : fécule de pomme de terre, du chara, du sagou, du lis des Incas, de fève, d'igname, de tulipe, de pois vert, anonyme des Antilles; de froment, d'iris, de tapioka, du petit millet, de massette, d'avoine, de seigle, de lentille, d'arrow-root, d'orge antique et de trappa.

Sur ces neuf fécules, telles que les a dessinées l'auteur, sept ne me semblent pas offrir des formes caractéristiques : deux seulement sont bien reconnaissables, celle de la pomme de terre, dont j'ai retrouvé et reproduit les formes, et une fécule dite arrow-root; quant à cette dernière, elle est souvent remplacée dans le commerce par d'autres fécules aussi agréables au goût : de là vient, sans doute, que M. Raspail n'aura pu se procurer, au lieu du véritable arrow-root, qu'un échantillon de la fécule de batates, dont il a représenté assez fidèlement les formes. Cela m'était d'abord arrivé, je m'en suis aperçu en examinant cette dernière; mon observation fut ensuite confirmée lorsque, ayant étudié directement la fécule dans les rhizômes du *maranta arundinacea*, j'ai pu déterminer et dessiner la configuration toute différente de ses grains.

On reconnaîtra facilement combien l'anatomie des fécules, dans l'ouvrage précité, diffère de celle que j'ai déduite de mes recherches; j'aurai soin, d'ailleurs, de faire remarquer plusieurs faits physiologiques du même ouvrage qui coïncident avec ceux que j'ai constatés.

TABLEAU DES DIMENSIONS MAXIMES EN LONGUEUR DES GRAINS DE DIFFÉRENTES FÉCULES, MESURÉES EN MILLIÈMES DE MILLIMÈTRE [1].

1	Tubercules des grosses pommes de terre de Rohan	185
2	Racine de Colombo (*menispermum palmatum*)	180
3	Rhizômes les plus volumineux du *canna gigantea*	175
4	——— du *canna discolor*	150
5	Rhizômes du *maranta arundinacea* (arrow-root du commerce)	140
6	Plusieurs variétés de pommes de terre	140
7	Graine du *chara hispida*	138
8	Bulbes de lis	115
9	Tubercules d'*oxalis crenata*	100
10	Graines du *chara vulgaris*	100

[1] Quelques-unes des plantes désignées ci-dessus, surtout parmi celles qui sont cultivées dans nos serres, pourraient sans doute, par un plus grand développement encore, produire des fécules plus volumineuses; mais il est probable que la plupart des relations, à cet égard, continueraient de subsister entre elles.

11	Tige d'un très-gros *echinocactus erinaceus* importé	75
12	Graines de grosses fèves	75
13	Sagou importé	70
14	Graines de lentilles	67
15	——— de haricots	63
16	Articulations du *chara hispida*	60
17	Graines de gros pois	50
18	Fruit du blé blanc	50
19	Sagou non altéré (fécule de la moelle fraîche du sagouier)	45
20	Grandes écailles des bulbes de jacinthe	45
21	Base des pétioles d'un *cycas circinalis*	45
22	Tubercules de batates	45
23	——— d'*orchis latifolia* et *bifolia*	45
24	Fruit du gros maïs blanc, jaune et violet	30
25	Fruit du sorgho rouge	30
26	Tiges volumineuses du *cactus peruvianus*	30
27	Graine de *naïas major*	30
28	Tige de *cactus pereskia grandiflora*	22,5
29	Graine d'*aponogetum distachyum*	22,5
30	Tige du *ginkgo biloba* (*salisburia adianthifolia*)	22
31	Tiges de *cactus brasiliensis*	20
32	Suc des tiges du *chara hispida*	18
33	Fruit du *panicum italicum*	16
34	Graines de *naïas major*, à demi développées	16
35	Pollen du *globba natans*	15
36	Tige du *cactus flagelliformis*	15
37	Tige d'*echinocactus erinaceus* de serre	12
38	Pollen de *ruppia maritima*	11
39	Tige d'*opuntia tuna* et *ficus indica*	10
40	—— d'*opuntia curassavica*	10
41	Fruit du gros millet (*panicum miliaceum*)	10
42	Tige de *cactus mamillaria discolor*	8
43	Écorce d'*aylanthus glandulosa*	8
44	Tige de *cactus serpentinus*	7,5
45	Racine de panais	7,5
46	Pollen de *naïas major*	7,5
47	Tige de *cactus monstruosus*	6
48	Graine de betterave	4
49	Graine du *chenopodium quinoa*	2

On remarquera dans ce tableau que la plus grosse fécule des tiges souterraines de la plus grosse variété de pommes de terre, du *menispermum palmatum* et du *canna gigantea*, ont en longueur

une dimension une fois et demie plus forte que celle de l'amidon le plus gros d'une graine (la fève, *faba vulgaris*), et quatre-vingt-dix fois la même dimension de l'amidon de la graine du *chenopodium quinoa;* les volumes comparés des mêmes fécules présenteraient de bien plus énormes différences, car les rapports, considérés il est vrai comme entre deux sphéroïdes, seraient comme 724,625 et 421,875 sont à 1; ainsi le volume de la fécule de fève serait 421,875 fois plus grand que le volume de l'amidon du *quinoa*, et celui de la fécule de pomme de terre de Rohan et du Columbo deviendraient approximativement alors au delà de 724,000 fois le même volume. Il est digne de remarque, peut-être aussi, que plusieurs fécules de graines et de tiges sont moins volumineuses que les granules d'amidon contenus dans des grains de pollen.

FORMES DES FÉCULES.

La configuration des grains de plusieurs fécules a été donnée par de très-habiles micrographes; mais, en ayant observé moi-même un plus grand nombre, et favorisé surtout par la certitude d'une structure interne particulière très-résistante, j'ai dû attacher plus de prix à des déterminations exactes, et constater plus facilement les formes et les dimensions des mêmes grains, vus dans plusieurs positions; j'ai cherché à voir leur plus ou moins grandes dépressions et les figures polyédriques qu'ils devaient fortement retenir après les avoir reçues d'une sorte de moulage par leurs adhérences mutuelles ou la pression exercée des uns sur les autres dans les cellules des végétaux : il ne sera donc pas inutile de reproduire les figures que j'ai dessinées des fécules à l'état normal; elles serviront d'ailleurs de termes de comparaison pour mieux juger les effets de moyens appliqués à faire ressortir leur structure interne. Malgré une grande analogie apparente entre elles, malgré surtout de grandes variations dans les différents grains de chacune, la plupart ont une sorte

de physionomie spéciale qui ne permet pas de les confondre.

Le caractère commun à un grand nombre de fécules dans leurs formes externes est de présenter des contours arrondis toutes les fois que leurs grains baignent dans un suc très-aqueux, ou ne sont pas assez nombreux et volumineux à la fois pour remplir plusieurs cellules contiguës et au point d'être fortement comprimées les unes par les autres : dans ce cas, dont nous citerons plusieurs exemples, elles affectent des formes polyédriques.

FORMES DE LA FÉCULE DES TUBERCULES DE POMMES DE TERRE.

Cette fécule est figurée (pl. I, fig. *a*,); elle se distingue, surtout dans la variété dite de Rohan, par le fort volume de ses grains, par les formes de portions de sphéroïde et d'ellipsoïde qui les composent; enfin par la marque du hile et les traces ou lignes d'accroissement plus faciles à discerner que sur la plupart des autres fécules. Des déchirures s'observent sur des grains vieux ou très-volumineux, qui se rencontrent surtout dans les tubercules arrivés au maximum de leur développement; ces déchirures anguleuses partent généralement du hile.

FÉCULE DE LA RACINE DE COLOMBO (*menispermum palmatum*).

Deux particularités notables caractérisent cette fécule entre toutes les autres, outre le volume considérable de ses plus gros grains; ce sont, ainsi que le montrent les figures *a* de la planche III: 1° les protubérances mamelonnées qui semblent sortir du corps principal d'un grand nombre de ses grains; 2° la disposition du hile ou des fentes étoilées qui indiquent sa place sur la partie la plus volumineuse de chaque grain. Cette fécule est presque toujours composée de grains globuleux ovoïdes ou pyriformes, qui constituent le corps principal ou les gibbosités portant parfois des hiles spéciaux.

FÉCULE DES RHIZÔMES DU *CANNA GIGANTEA*

Cette fécule est remarquable par les grandes dimensions que ses grains atteignent dans les rhizômes très-développés, et, plus tard, par leur désagrégation graduée, pour servir à la végétation des parties plus récentes de la plante. Quant à ses formes spéciales, elles présentent, comme le montrent les figures 1, 2, 3, 4 et 5 de la planche IV, en général une disposition du hile inverse de celle observée dans la fécule du Colombo; car, à partir de ce point d'accroissement, les grains, augmentant de volume par degrés, présentent souvent en projection des figures analogues à des poires, des fioles, des cornues, ou des bouteilles arrondies. Tous ces grains, à l'exception des plus jeunes, sont sensiblement aplatis; en sorte que, retournés avec précaution, ils présentent une épaisseur moindre des deux tiers ou des trois quarts que leur largeur.

FÉCULE DU *CANNA DISCOLOR.*

La même particularité d'aplatissement des grains, que nous venons de signaler, se retrouve dans cette fécule blanche et brillante (voyez planche V le même grain dans deux positions *a a'*); mais elle se distingue de la précédente par des formes qui se rapprochent de celle d'un écusson arrondi, plus ou moins court ou allongé, et au sommet duquel se trouve presque toujours situé le hile; souvent celui-ci est au milieu du bout déprimé; entre deux protubérances légères ou développées les lignes d'accroissement se voient généralement fines et nombreuses. On peut reconnaître ces configurations spéciales dans les figures 4 de la planche VI; plusieurs des grains très-allongés offrent des lignes d'accroissement qui ne reviennent plus envelopper le hile, mais en sont, au contraire, plus ou moins éloignées.

AMIDON CONTENU DANS LES DIFFÉRENTES PARTIES DU *CHARA*.

En examinant, sous le microscope, le *chara hispida* dont je me proposais d'analyser les membranes, je reconnus dans le suc de la tige des granules de cinq à quinze millièmes de millimètre, qui offrirent les caractères de l'amidon.

Les graines du *chara*, considérées d'après M. Adolphe Brongniart comme monospermes, et remplies d'un endosperme blanchâtre, contiennent en effet de la fécule, dont la présence fut indiquée par M. Raspail. J'ai cru devoir déterminer la nature de cette substance, sur laquelle un seul caractère observé, la coloration bleue par l'iode, pouvait laisser des doutes.

Les granules en question offrent, par leurs dimensions, leurs formes et leur consistance quelques caractères particuliers; ce qui les distingue surtout, c'est que les plus petits, au-dessus d'un demi et jusqu'à deux centièmes de millimètre, sont très-irréguliers, contournés ou gibbeux, tandis que les plus gros depuis trois jusqu'à quinze centièmes de millimètre, et plus particulièrement encore ceux qui ont des dimensions moyennes, approchent des formes régulières de sphéroïdes et d'ellipsoïdes, ainsi que le montrent les figures 4 de la planche VII, qui représentent l'amidon du *chara hispida*. Le suc des tiges contient des granules plus petits (voyez fig. 2), enfin dans les articulations la plupart des grains de fécule, figure 3, ont une conformation toute spéciale, fort allongée, offrant des soudures peu consistantes dans leurs corps cylindroïdes. Les grains d'amidon des articulations du *chara vulgaris* sont plus petits et la plupart globuliformes.

Plusieurs propriétés physiques et toutes les réactions chimiques prouvent l'identité parfaite de ces différents granules avec l'amidon.

FÉCULE DES BULBES DE LIS.

La plupart des grains bien développés de cette fécule très-

blanche sont pyriformes, plus ou moins allongés; leur hile est marqué généralement vers le petit bout; les lignes d'accroissement, fines et distinctes, s'écartent parfois du hile, en laissant une trace bien visible à la limite de leur séparation, planche VI, figure 1; quelques grains ont des sortes de côtes arrondies ou protubérances allongées, comme l'indiquent les deux figures *a a'* d'un même grain vu dans deux positions (planche VI, figure 2).

La fécule la plus développée dans les anciennes écailles est plus irrégulière, souvent gibbeuse, offrant des fractures en étoiles ou irradiées du trou d'accroissement (hile); celui-ci est quelquefois double sur un même grain, comme cela se remarque en général sur quelques-uns des grains de presque toutes les fécules. Comme presque toutes les autres encore, celle-ci est généralement globuleuse lorsqu'elle est très-jeune.

FÉCULE DES TUBERCULES D'*OXALIS CRENATA*.

Celle-ci se présente généralement en petits corps cylindroïdes ou légèrement coniques plus ou moins allongés, laissant voir les lignes d'accroissement, et leur hile rarement double, souvent étoilé sur les vieux grains. On reconnaîtra ces caractères assez tranchés dans les figures 4 de la planche IV.

FÉCULE DE L'*ECHINOCACTUS ERINACEUS*.

Dans un très-gros *echinocactus erinaceus*[1], importé en France et envoyé à M. Magendie, qui voulut bien me permettre d'en disposer, je trouvai, près du cylindre des faisceaux ligneux qui enveloppe la partie médullaire, des grains de fécule plus volumineux que dans aucun autre *cactus*, mais il ne s'en trouvait que de très-rares vestiges dans toutes les autres parties de cette énorme tige.

Cette fécule offrait quelques lignes circulaires concentriques

[1] Sa tige sphéroïdale avait quarante-cinq centimètres de diamètre moyen.

d'accroissement; elle était d'ailleurs remarquable par les formes irrégulières, généralement arrondies, mais dépendantes des rapports de position de ses grains; leur croissance avait été si longue que des fentes sinueuses étoilées annonçaient leur prochaine dislocation, et permettaient de les casser en segments par une légère pression. Nous démontrerons plus loin que tous ces caractères résultent naturellement de l'âge de la plante et de l'abondance des sucs aqueux qui remplissent ses cellules.

FÉCULE DU SAGOUIER.

Le sagou du commerce nous arrive en globules légèrement fauves ou blancs. Ce sont des agglomérations roulées, composées d'un grand nombre de grains de fécule, la plupart offrant des modifications de formes et l'évasement du hile, dus à l'élévation de la température lors de leur préparation. On peut reconnaître sur plusieurs aussi (pl. IV, fig. 10 et 11), les effets de la présence de l'eau au moment du traitement à chaud; cette dernière réaction est surtout indiquée par les formes de la fécule du sagou blanc (fig. 11). Nous y reviendrons plus loin en décrivant les divers phénomènes produits par certains degrés de température, soit à sec, soit en présence de l'eau[1].

La fécule extraite à l'état normal de la moelle du sagouier cultivé au Jardin du roi présente une configuration remarquable: beaucoup de grains affectent sensiblement, dans la moitié de leur volume, la forme d'un hémisphère, tandis que l'autre moitié du même grain est polyédrique, souvent à six faces latérales aboutissant à une face courbe hexagonale. (Voyez les figures 5 et 6 de la planche IV.) On se fera encore une idée de cette forme en la comparant à une demi-sphère, posée sur la base d'une py-

[1] Ces caractères semblent mettre hors de doute la préparation *à chaud*, jusqu'ici contestée, du sagou. Voyez l'article *Sagou* du Dictionnaire de MM. Mérat et Delens, les Observations de MM. Raspail et Caventou, un Mémoire de M. Poiteau (*Journal de Chimie médicale*), 1835, et des Recherches sur l'histoire du sagou, par M. Planche, 1837

ramide à six faces, tronquée par une surface courbe hexagonale; ces deux parties ayant un axe commun qui traverse le hile, et l'ouverture de celui-ci étant marquée à la superficie de la portion sphérique; cette configuration tient évidemment à la pression qu'ont exercée les uns sur les autres les grains se développant en contact.

La fécule extraite de la base des pétioles du *cycas circinalis*, sur un stipe ayant de quatre à cinq ans, offre une conformité remarquable dans les parties polyédriques et les portions sphériques de ses grains avec la fécule provenant de la moelle de ce sagouier : on y trouve, correspondant aux mêmes points, le hile ainsi que les lignes circulaires d'accroissement; les agglomérations de ces grains sont aussi semblablement disposées dans les cellules.

AMIDON DES COTYLÉDONS DE FÈVES.

Ses grains se distingent de tous les précédents par les bords généralement sinueux de leurs projections, les ondulations marquées de leur surface, la difficulté d'apercevoir, directement du moins, leurs lignes d'accroissement, bien que l'on parvienne à discerner, près de leurs bords, deux ou trois épaisseurs apparentes, et encore par l'absence ou plutôt l'invisibilité directe du hile, comme par la dépression inégale de tous les grains volumineux, dépression qui réduit d'un tiers ou de moitié la surface de leur projection, lorsqu'on les fait tourner sur leur grand axe d'un quart de circonférence. Les figures 3, de la planche IV montrent ces formes et plusieurs grains tournés sous deux ou trois positions : *a a'*, *b b'*, *c c'*. En les comparant aux figures de la fécule des pois, on verra que celle-ci diffère par une plus faible épaisseur et par des dépressions plus fortes, suivant des lignes qui se réunissent dans l'axe.

Dans les fèves volumineuses presque mûres, on trouve des grains d'amidon, parmi les plus gros, qui sont sinueux et con-

tournés en demi-arc de cercle, ou terminés par un crochet, ou même encore bifurqués irrégulièrement.

AMIDON DES COTYLÉDONS DE POIS (*pisum sativum*).

Les figures 4 de la planche VII montrent les différences que nous venons d'indiquer entre cette fécule et la précédente, ainsi que les divers aspects d'un même grain *a*, *a'*, *b*, *b'*, *b* . On remarquera surtout dans les fortes dépressions canaliculées qui sillonnent ses grains, la cause de l'erreur qui a fait dessiner, par un habile observateur étranger, une sorte de hile allongé et dans l'axe. En effet presque tous les grains vus de trois quarts offrent cette apparence, il a fallu tourner un grand nombre de grains entre deux lames de verre et les dessiner chacun dans plusieurs positions, pour dissiper toute illusion optique à cet égard. Je suis parvenu, d'ailleurs, à démontrer, par un procédé général indiqué plus loin, la forme et la position du véritable hile, figure 5, presque invisible à l'état normal.

AMIDON DES BLÉS DURS ET TENDRES.

L'examen attentif de l'un des beaux types des blés blancs, la tuzelle de Provence, et des espèces de blés durs bien caractérisés, notamment le blé de Pologne et le blé de Taganrock (*triticum polonicum* et *triticum durum*), montre, dans leurs grains d'amidon une physionomie toute particulière. Bien développés, ils sont irrégulièrement aplatis ou plutôt lenticulaires et à rebords arrondis; l'une de leurs faces est ordinairement plus proéminente, et le sens des fractures étoilées, qui s'y aperçoivent quelque fois, indique vers leur sommet le siége du hile.

Pour bien discerner cette structure, il est indispensable de faire rouler lentement les grains dans l'eau, entre deux lames de verre, sans les quitter de l'œil sous le microscope; on parvient alors à les voir sous plusieurs faces, comme l'indiquent en *a*, *a'*,

a'', la figure 7 de la planche IV. On ne saurait cependant démontrer directement ainsi l'emplacement du hile : nous verrons plus bas comment on y peut parvenir. Les grains de cette fécule sont d'autant moins déprimés et approchent d'autant plus des formes de sphéroïdes ou d'ellipsoïdes, qu'ils sont plus jeunes et de plus petites dimensions.

FÉCULE DES TUBERCULES DE BATATES (*convolvulus batatas*).

Cette fécule, si complétement exempte de toute saveur étrangère qu'elle peut, à cet égard, soutenir la comparaison avec les fécules de *canna discolor*, de *maranta arundinacea*, du sagouier et des orchis, se distingue de toutes celles que nous avons décrites dans ce mémoire, par la configuration d'un grand nombre de ses grains, ainsi que le montrent les figures 14, 15 et 16, de la planche IV.

Ils paraissent tronqués vers le bout opposé au hile : les bords arrondis prouvent cependant que ce n'est pas véritablement une coupure ; on aperçoit parfois une ligne courbe rentrante qui annonce dans cette surface déprimée une partie creusée comme le fond des bouteilles ordinaires à vin. Il y a réellement en cet endroit une cavité, qui, peu profonde, devient sensible lorsqu'elle reçoit par hasard le bout arrondi d'un autre grain : nous verrons bientôt comment on la fait prononcer davantage. Beaucoup de ses grains semblent sphériques parce qu'ils reposent sur leurs faces déprimées ; on s'en aperçoit en les forçant de changer de position et de se coucher sur les parties arrondies.

La plupart des autres grains ont pour cachet particulier d'offrir des formes polyédriques, ou des surfaces courbes légèrement rentrantes d'un côté ou vers l'un des bouts, tandis que la portion opposée est en général arrondie et convexe.

Le hile et les lignes d'accroissement se voient aisément sur ces grains, ce qui les distingue de plusieurs autres fécules à formes polyédriques. (Voyez les figures 14 de la planche IV.)

FÉCULES DES TUBERCULES D'ORCHIS (*salep*).

Cette fécule est en grains généralement ovoïdes, plus ou moins irréguliers; le hile est situé sur la partie la plus volumineuse ou le gros bout du grain.

Dans un grand nombre de ces petits tubercules, tous les grains de fécule sont soudés et offrent des masses amorphes qui remplissent les cellules; ce caractère dépend, sans doute, de la température élevée à laquelle la dessiccation a commencé; les tubercules étant alors très-humides, la fécule a dû former empois en s'hydratant dans chaque cellule; de là encore la demi-transparence de la plupart des petits tubercules secs.

Les configurations naturelles de cette fécule sont bien mieux observées sur les tubercules à l'état sain; on a extraitde ces derniers les grains dessinés, planche IV, figures 17 et 18.

La fécule figure 17 vient des tubercules d'*orchis bifolia :* on voit que plusieurs de ses grains globuliformes offrent deux portions coniques sur le même axe; on voit, en outre, sur quelques-uns deux hiles marqués sur la partie sphérique.

Les grains de la fécule d'*orchis latifolia* sont la plupart sous forme de sphéroïde, munis d'un ou de deux hiles, mais presque tous se terminent par un seul cône à pointe mousse ou arrondie. (Voyez les fig. 18.)

FÉCULE DES BULBES DE JACINTHE.

Bien que cette fécule ait une analogie évidente, et à laquelle on devait s'attendre, avec celle des lis, on peut l'en distinguer à ses contours généralement plus irréguliers, à la position du hile sur le bout souvent le plus volumineux, et surtout, enfin, à la courbure qu'affecte la partie moyenne, et qui fait paraître en saillie et plus éclairés ses deux bouts arrondis. (Voyez les fig. 12. pl. IV.)

Dans les écailles extérieures où les développements ont été le plus longtemps prolongés, on trouve un grand nombre de grains étoilés, fendus, et d'autres commençant à s'exfolier. Cela tient à un phénomène physiologique général sur lequel nous reviendrons.

AMIDON DES GRAINS DE GROS MAÏS BLANC, JAUNE ET VIOLET.

Outre les différences physiologiques dont nous parlerons à la fin de ce mémoire, et qui résultent des époques de développement et de dissolution des fécules, on remarquera entre les grains d'amidon du même âge, dans un même grain de maïs, de grandes variations de formes. Toute la partie cornée ou demi-translucide adhérente au tissu en contact avec l'épiderme d'un de ces fruits présente ses grains de fécule tellement serrés et enchâssés dans une masse commune, fortement pressée de toutes parts entre les cellules voisines, que tous ces grains ont une forme polyédrique, et qu'on parvient à en rompre plusieurs sans les désagréger les uns des autre; c'est que fait voir la figure 20, planche IV. Ce grand rapprochement des parties, observé par M. Raspail, explique la demi-transparence de la substance cornée et la rudesse de la farine de maïs; quant à la portion farineuse des autres parties, qui se rapproche du cotylédon et qui est d'autant plus abondante que le maïs offre plus de blancheur et d'opacité, celle-ci contient un grand nombre de grains libres, les uns globuleux, pyriformes, ovoïdes; les autres offrent, d'un côté, des formes arrondies, et, de l'autre, des faces polyédriques, comme l'indiquent les figures *a*, *b*. Sur quelques-uns on parvient à distinguer le hile.

AMIDON DES GRAINES DE SORGHO ROUGE (*sorghum vulgare*).

Cette graine, dont la plante coupée jeune produit un fourrage abondant, doit l'infériorité de sa farine grossière à la difficulté

d'en éliminer le son ; car, bien que la plupart des grains de la fécule affectent des formes polyédriques (voyez la pl. IV, fig. 22), résultant de la pression qu'ils ont éprouvée les uns contre les autres, ils sont presque tous libres. On aperçoit, sur l'une de leurs faces arrondies, quelques fentes irradiées d'un centre qui marque la position du hile.

FÉCULE DE LA TIGE D'UN *CACTUS PERUVIANUS*.

Un grand nombre de *cactus* cultivés en serre ne contiennent pas ou renferment seulement des traces d'amidon. Il m'a fallu rechercher, pour chacun d'eux, les plus développés, sans qu'ils fussent trop vieux, pour arriver à bien déterminer les formes de leurs grains de fécule et leurs plus fortes dimensions ; celles-ci toutefois pourront, comme je l'ai observé sur un volumineux *echinocactus erinaceus* (voir page 226), s'élever encore dans d'autres circonstances de végétation[1].

Les grains de fécule de ce *cactus* sont en général sous formes de sphéroïdes ou d'ellipsoïdes ; on y peut parfois apercevoir le point d'insertion du hile, plusieurs des lignes d'accroissement, et quelques légères ondulations à leur superficie ; un grand nombre de ces grains offrent évidemment la réunion de deux ou de trois d'entre eux, ainsi que le font voir les figures 21 de la planche IV.

AMIDON DE LA GRAINE DU *NAÏAS MAJOR*.

Les grains d'amidon de cette graine sont, en général, globuleux ou ovoïdes, quelquefois légèrement déprimés dans le milieu des deux faces opposées. (Voyez les figures 4 de la planche VIII.)

[1] Je dois à l'extrême obligeance de MM. les professeurs du Jardin du roi, ainsi qu'à M. Neumann, chef des serres, à MM. Cels et Duvillers, membres de la Société royale d'horticulture, d'avoir pu faire varier mes observations sur un grand nombre de *cactus*, sur les rhizômes de plusieurs *canna*, les racines du *menispermum palmatum*, les tubercules d'orchis, les fécules de la moelle et des pétioles du sagouier (*cycas circinalis*), du *ginkgo biloba*, le pollen du *globba nutans*, etc. etc.

Lorsque la graine n'est qu'à demi développée, les grains d'amidon ont une dimension moitié moindre, fig. 3.

FÉCULE DE LA TIGE DU *CACTUS PERESKIA GRANDIFLORA.*

Sur une branche de trois millimètres provenant d'un individu ayant trente-quatre centimètres de haut, j'ai trouvé les cellules de la partie médullaire complétement remplies de fécule plus grosse là que partout ailleurs; les grains de celle-ci portaient des hiles bien marqués ainsi que plusieurs de leurs lignes d'accroissement.

Leurs formes assez irrégulières montraient des résultats évidents d'adhérence entre les grains, ainsi qu'on en peut juger par des configurations polyédriques ou portions planes de plusieurs de ces grains, dessinés planche VI, figure 25.

AMIDON DES GRAINES *D'APONOGETUM DISTACHYUM.*

Quoique de petites dimensions, les grains de cette fécule laissent voir le point de leur hile; leurs formes sont quelquefois tout arrondies. Sur beaucoup d'entre eux on remarque une sorte d'enfoncement ou des dépressions plus ou moins étendues; on remarque encore, ainsi que l'indiquent les figures 23 de la planche IV, un assez grand nombre de ces grains terminés par des faces polyédriques ou tronquées, analogues à celles qui caractérisent la fécule de batates, fécule que ses dimensions ne permettraient pas de confondre, sous le microscope, avec celle-ci.

FÉCULE DU *GINKGO BILOBA.* (*salisburia adianthifolia*).

Une branche ayant 27,5 millimètres de diamètre contenait dans le tissu médullaire, dans les couches ligneuses et dans l'écorce, une fécule très-remarquable par ses formes très-sinueuses, échancrées, à faces polyédriques souvent aplaties, allongées, offrant des protubérances latérales.

FÉCULE DU *CACTUS BRASILIENSIS*.

Les grains de cette fécule sont remarquables, comme on le voit dans la figure 26 de la planche VI, par leurs irrégularités. Non-seulement les bords de la projection sont en général sinueux et leur superficie est gibbeuse, mais encore des portions plus effilées et courbes offrent l'apparence d'une sorte des crochet; ni le hile, ni les lignes d'accroissement ne sont nettement perceptibles.

AMIDON DU FRUIT DU *PANICUM ITALICUM*.

Presque tous ses grains d'amidon sont terminés par des formes polyédriques fort analogues à celles des grains amylacés du maïs, dont ils se distinguent par leurs petites dimensions. On y trouve aussi, dans la partie cornée, des agglomérats de grains solidement enchâssés dans les cellules; ils sont soudés par une forte pression. (Voyez les figures 27 de la planche IV.)

AMIDON DU POLLEN DE *GLOBBA NUTANS*.

Les grains de ce pollen, les plus développés surtout, contiennent plus ou moins abondamment dans leur fovilla des granules offrant les principaux caractères de l'amidon, et sur l'analyse desquels nous reviendrons plus tard. La figure 7 en *a b*, planche VIII, montre ces granules, la plupart de formes elliptiques, souvent courbes, offrant alors une configuration analogue à celle d'un concombre. J'ai indiqué, sur une partie des granules sortis par l'explosion naturelle d'un grain de pollen, la coloration bleue que leur communique l'iode, tandis que ce corps teint en jaune les membranes, et laisse presque sans couleur la partie fluidiforme du fovilla.

FÉCULE DU *CACTUS FLAGELLIFORMIS*.

Les grains les plus développés de cette fécule, dans une forte tige, offraient, comme le montrent les figures 28 de la planche IV, une projection à bord sinueux et une dépression sensible au milieu; ils étaient aplatis, en sorte que leur épaisseur se trouvait moindre d'un tiers environ que leur largeur maxime : plusieurs grains paraissent doubles.

FÉCULE DE *L'ECHINOCACTUS ERINACEUS* CULTIVÉ EN SERRE.

Ses plus gros grains, pris près de l'axe de la tige, sont globuliformes : un petit nombre sont doubles; au centre même se trouvaient des grains à bords irréguliers, qui semblaient avoir été altérés dans leur structure. (Fig. 29, pl. IV.)

FÉCULE DU POLLEN DE *RUPPIA MARITIMA*.

Les grains de cette fécule sont plus ou moins irrégulièrement arrondis ou oblongs; les plus gros sont, la plupart, déprimés au centre; plusieurs sont cylindriques, terminés par des bouts arrondis; leur corps est plus ou moins courbé, en sorte que, parfois, ils simulent ainsi un cylindre contourné en couronne. (Pl. VIII *b c*, fig. 1.)

FÉCULE DE LA TIGE DU *CACTUS OPUNTIA TUNA*.

Grains globuliformes; plusieurs doubles. Une fécule semblable, à grains un peu plus petits et surtout plus rares, s'est trouvée dans le *cactus opuntia ficus indica*. (Pl. IV, fig. 30.)

FÉCULE DU *CACTUS OPUNTIA CURASSAVICA*.

Très-peu abondante; elle offre plusieurs grains doubles ou

allongés, à bords et superficie légèrement ondulés. (Pl. IV, fig. 31).

AMIDON DU FRUIT DU MILLET (*panicum miliaceum.*)

Les grains de cet amidon sont de formes polyédriques, et fort analogues à ceux du *panicum italicum*. (Voyez les fig. 33 de la pl. IV.)

FÉCULE DU CACTUS *MAMILLARIA DISCOLOR.*

Ses grains, arrondis ou à bords sinueux, sont semblables à ceux de la fécule des *cactus opuntia tuna* et *curassavicus*, quoique plus petits. (Voyez fig. 34, pl. IV.)

FÉCULE DE L'ÉCORCE DE L'*AYLANTHUS GLANDULOSA.*

Cette fécule se montre en grains très-irréguliers, généralement polyédriques. (Fig. 35, pl. IV.)

FÉCULE DE LA TIGE DU *CACTUS SERPENTINUS.*

Ses grains, analogues à ceux des fécules de plusieurs *cactus*, sont arrondis, montrent quelques lignes d'accroissement et quelques ondulations à leur surface : on y rencontre des grains doubles. (fig. 37, pl. IV.)

FÉCULE DE LA RACINE DE PANAIS.

Tous les grains de cette fécule offrent une projection arrondie et une portion de cercle concentrique, marquant, comme l'indiquent les figures 36, planche IV, une ondulation circulaire à leur superficie.

AMIDON DU POLLEN DU *MAIS MAJOR*.

Presque tous les grains cylindroïdes de cet amidon offrent une incurvation plus ou moins prononcée : les plus petits sont ovoïdes. (Voir en *a*, *b*, les fig. 2, pl. VIII.)

FÉCULE DU *CACTUS MONSTRUOSUS*.

Cette fécule, en grains assez rares, est en général globuliforme; elle montre peu de grains doubles. (Pl. IV fig. 38.)

AMIDON EN LA GRAINE DE BETTERAVES.

Il se présente en grains sensiblement sphériques, qui se rapprochent beaucoup à tous égards de ceux de la graine de *chenododium quinoa*. (Voyez fig. 39, pl. IV).

AMIDON DE LA GRAINE DU *CHENOPODIUM QUINOA*.

Les grains de cet amidon sont les plus petits que j'aie observés dans les graines venues à maturité ; ils sont globuliformes ou ovoïdes, comme l'indiquent les figures 40, planche IV.

PREMIÈRE SECTION.

ANATOMIE DE L'AMIDON.

Rupture des fécules, examen de leurs parties internes. — Ouverture du hile jusqu'au centre des grains, etc. vue des couches d'accroissement. — Dissolution de la couche superficielle des fécules. — Exfoliation des couches solides qui composent chacun des grains d'amidon.

RUPTURE DES FÉCULES ET EXAMEN DIRECT DE LEUR SUBSTANCE INTERNE.

Au début de ce travail, je crus devoir m'occuper des moyens de rompre les grains d'amidon sans altérer leur substance, d'éviter même tout broyage ou frottement énergique; je renonçai aux sections par des lames tranchantes, parce qu'elles exigeaient un scellement préalable avec une matière étrangère.

L'écrasement par une pression graduée me parut de beaucoup préférable; mais, afin de diminuer encore la force à employer et les altérations que je craignais tant, je recherchai à quel état et dans quelle plante l'amidon offrirait moins de résistance. Après de nombreuses, tentatives qu'il serait trop long de rapporter ici, je reconnus que les tubercules des pommes de terre volumineuses, et obtenues sous l'influence d'une longue végétation, contenaient dans certaines parties de leur tissu, la plus grosse fécule, et que les grains de celle-ci résistaient le moins à la pression.

A tous ces égards, la variété dite de *Rohan* me parut mériter la préférence; je trouvai effectivement, dans un de ses tubercules venus à maturité, une fécule dont la plupart des grains étaient légèrement fêlés en étoiles à partir du hile; quelques traces des fentes se prolongeaient dans l'axe et se ramifiaient des deux côtés de celui-ci.

En comprimant entre deux lames de verre la fécule des pommes de terre venues à maturité, on rencontre ensuite sous le microscope un grand nombre de grains plus ou moins profondément fendus, étoilés, ou séparés en deux ou plusieurs fragments.

La planche II montre : 1° les grains tels qu'ils se trouvaient dans les cellules de la pomme de terre ; 2° les ruptures opérées par une légère pression, et 3° les fragments gonflés dans toutes leurs parties internes et externes par une faible solution de soude.

De *a* en *a'* et *a''*, les figures représentent les grains de fécule extraits d'une pomme de terre de Rohan parvenue à sa maturité complète. On voit l'un des grains les plus développés, ayant une longueur de 180 et 185 millièmes de millimètre.

a'' grains plus largement fendus que les précédents.

b, gros grains plus fendillés encore.

Toutes les figures suivantes, jusques et comprise la figure *j*, montrent des grains de la même fécule rompus à l'aide d'une légère pression.

e, *e*, *e*, grains rompus jusqu'au centre.

f, *f*, face interne de deux grains cassés en deux fragments, laissant voir une cavité autour de l'axe.

f, moitié d'un grain vue latéralement.

g, tronçon d'un grain séparé en trois parties.

g' et *g''*, morceaux laissant voir à nu la substance interne sur deux côtés.

g''', fragment montrant sur quatre de ses faces la substance intérieure à cassure rayonnée.

h, grain allongé, rompu en deux parties très-irrégulières qui indiquent encore un axe correspondant au hile.

i, *i'*, grains sphéroïdes cassés.

j, grain ellipsoïde rompu en trois, suivant des sections partant du centre.

Tous ces grains, librement accessibles dans leurs parties

internes, ne cèdent à l'eau froide rien qui puisse être coloré par l'iode.

k, moitié d'un grain commençant à se gonfler par une solution alcaline.

l, *m*, menus fragments ou quartiers de grain gonflés par la même solution (contenant 0,01 de soude).

n, *o*, grains moins brisés, dont le gonflement a effacé les angles des fractures.

p, grain très-irrégulièrement brisé : toutes les arêtes des fractures se sont arrondies en se tuméfiant par le même réactif.

Ces figures, dessinées sous le microscope, prouvent que la substance intérieure de la fécule est consistante et extensible à froid sous l'influence des alcalis caustiques : nous verrons plus loin qu'elle offre avec l'eau, l'iode, la diastase, les acides, etc. des réactions semblables à celles que donnent les grains entiers.

Ainsi donc la nature consistante, l'insolubilité dans l'eau froide, de toute la masse interne de l'amidon, ne peuvent plus être l'objet d'un doute ; cette épreuve décisive a été répétée sur diverses fécules : nous nous bornerons à en citer ici deux exemples encore.

L'amidon des pois (*pisum sativum*), dont on voit deux grains rompus figure 4, en *e*, *f*, planche VII, offre aux réactifs une résistance due à sa plus forte cohésion, mais qui, une fois vaincue, laisse manifester tous les phénomènes caractéristiques de la substance amylacée; résistance remarquable, d'ailleurs, que nous apprécierons plus loin. Il se rompt ordinairement en deux parties à peu près égales, suivant la ligne médiane de dépression qui réduit son épaisseur et sa force ; les fragments ne laissent rien dissoudre, ils offrent à l'intérieur les propriétés que manifestent toutes les réactions chimiques sur l'amidon intact.

La fécule du *canna discolor* fortement comprimée montre par la forme de ses ruptures (figure 5, planche VI) et par l'extension de ses grains, qu'elle est assez flexible pour s'étendre très-sensiblement avant de rompre, toutefois ses parties internes pré-

sentent les mêmes propriétés physiques et chimiques que les couches externes, sauf encore de légères modifications dues aux différences de cohésion.

Les graines bien développées du *chara vulgaris* et du *chara hispida*, qui ont un diamètre de 0,50 à 0,75 de millimètre, contiennent des grains de fécule dont les plus volumineux s'écrasent entre deux lames de verre par la pression des doigts; ils sont alors fendillés en étoiles, à partir d'un hile que l'on n'aperçoit pas toujours (pl. VII, fig. 4 et 5 en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*,), et se propagent parfois suivant un axe. (Voyez en *f*, *g*.) On distingue les zones d'accroissement sur plusieurs d'entre eux (*h*, *i*, *j*, *k*).

Les grains d'amidon les plus volumineux dans les vieilles graines se désagrègent quelquefois en donnant lieu aux petites sphérules amylacées dont j'ai signalé la présence dans les vieux tubercules des pommes de terre. (Voyez pl. III, fig. 9 en *a*, *b*, *c*.)

Tous ces grains, ainsi que ceux des tiges et des articulations, peuvent être gonflés au point de presque centupler de volume, par les solutions contenant un centième de soude ou de potasse. Ils se colorent de nouveau en bleu par l'iode, si on sature préalablement l'alcali ; ni l'ammoniaque, ni l'acide acétique n'attaquent leur substance, qui est dissoute par l'acide chlorhydrique, et se peut transformer en dextrine et en sucre par l'acide sulfurique et la diastase. Ils sont donc entièrement formés d'amidon; chimiquement ils diffèrent beaucoup des jeunes organes, surtout des organes reproducteurs *des végétaux, par les très-faibles proportions de substances azotées* qu'ils recèlent.[1]

[1] *Composition chimique du pollen du chara.*

Les vésicules de couleur orangée qu'on voit sur les rameaux du *chara* contiennent, comme on le sait, des cellules très-longues et souples. J'ai reconnu que leurs minces membranes ont la composition chimique du tissu végétal, tandis que les subtances renfermées par elles offrent la composition azotée propre aux corps enveloppés dans les plus jeunes organes des plantes.

Ces résultats analytiques me semblent être des conséquences naturelles de la nature physiologique des organes reproducteurs du chara, telle que M. Brongniart l'a indiquée, non-seulement quant à la graine monosperme, mais encore relativement aux substances azotées contenues dans les membranes végétales qui se rapporteraient au pollen de l'organe mâle.

Ces faits chimiques seraient encore en harmonie avec les observations de M. Meyen et celles

ACCROISSEMENT DU HILE DANS L'AMIDON DE DIFFÉRENTES ORIGINES, ET VUE DES COUCHES CONCENTRIQUES INTERNES.

Le hile, très-facile à observer sur certaines fécules, n'est pas discernable aux plus forts grossissements sur beaucoup d'autres; j'ai pensé qu'il serait possible de démontrer sa présence en le faisant paraître à l'aide d'une contraction opérée par une dessiccation assez forte, et de faire ressortir la différence de cohésion dans cette partie des grains amylacés.

En effet, la substance le moins fortement aggrégée, plus distendue par l'eau dans l'état normal, doit plus diminuer de volume que les autres; offrant, d'ailleurs moins de résistance, elle cède à elle seule aux différences du retrait opéré sur toutes les autres. Le hile doit être le siége de ces résultats d'une double contraction : les parties intérieures dans chaque grain étant moins agrégées, parce qu'elles ont été sécrétées le plus récemment, et la matière de chaque couche ayant dû remplir la cavité pour s'introduire par le hile, il était à présumer que ses dernières portions enduisaient les parois de celui-ci ; qu'enfin la solubilité acquise à la substance amylacée, par suite d'une température élevée, devait être plus grande aussi en ce point; ainsi donc l'effet de la dissolution pouvait faire apparaître l'orifice du hile même dans les fécules trop souples et minces pour que les effets du retrait fussent visibles.

L'expérience répondit parfaitement à ces prévisions et je parvins ainsi à marquer nettement le hile, en le forçant à s'ouvrir sur plusieurs fécules jusqu'au centre de leurs grains sphériques, ou jusqu'à l'axe des grains allongés. On jugera bien tous les détails de ce curieux phénomène à l'inspection des figures 8,

de M. Brongniart sur les mouvements spontanés des petits corps renfermés dans ce pollen (*Ann. des sc. nat.* nov. et déc. 1838), car tous les corps doués d'un mouvement spontané, autre que celui des particules de Brown, se sont trouvés, dans mes essais, avoir une composition quaternaire azotée.

planche IV, qui comprennent les effets de ce genre obtenus sur l'amidon de blé, et planche VII, figure 7, sur l'amidon de pois, chez lequel l'existence du hile n'avait pas encore été démontrée.

Par ce procédé, on trouve facilement, comme le montrent aussi les figures de la fécule de la pomme de terre soumise à ce traitement, ceux des grains dont la nutrition s'est faite par deux et même par trois hiles (pl. I, fig. 2, 3, 4). On parvient encore très-facilement, en observant ainsi préparées les fécules d'un gros volume et globuliformes, à discerner, dans l'intérieur de la cavité du hile qui se présente évasée en entonnoir, les lignes circulaires marquant les bords des couches emboîtées.

Parmi toutes les fécules desséchées entre les températures de 200 à 220 degrés, celle du *canna discolor*, dont les grains sont le plus aplatis, montrait moins son hile qu'avant la dessiccation; cela tenait sans doute à ce que ses grains étaient plus minces et plus diaphanes. Supposant toutefois que le point d'insertion du hile devait être plus attaquable que les autres sur chaque grain, j'essayai de le faire paraître en desséchant cette fécule seulement à 200 degrés, afin de la rendre très-avide d'eau sans qu'elle fût bien soluble; puis la plongeant dans l'eau froide, le gonflement subit qu'elle éprouva fit augmenter et paraître l'ouverture jusque-là inaperçue du hile, au point qu'il eût été même discernable sous un faible grossissement. (Voyez la fig. *c* de la pl. V).

J'avais, comme on le voit sur la même planche, figure I en *a*, *a'*, *a''*, obtenu un effet analogue mais beaucoup moins prononcé, en portant la température de cette fécule seulement a + 150°. La même expérience, répétée sur la fécule de pomme de terre, eut pour résultat de prouver que l'agrandissement du hile était un effet mécanique exempt d'altération chimique : en effet, cette fécule ayant été chauffée à 155°, on vit son hile fort agrandi, comme l'indiquent les figures *a*, *b*, *c*, *d*, de la planche figure 4, bien que toute la substance fût restée insoluble dans l'eau ; tenue dans ce liquide, l'ouverture du hile fut à peu près remplie par le gonflement de la substance intérieure, qui fit disparaître les cercles des couches con-

centriques. La figure *f* montre comment le hile encore ouvert laisse pénétrer plus rapidement une solution alcaline faible qui produit quelques déchirures, jusqu'à ce que le gonflement plus considérable efface ces déchirures.

Les figures *f'*, *g'*, font paraître le gonflement comparativement opéré par la même solution sur un grain de fécule non desséché ; dans ce cas il ne se manifeste aucune déchirure, mais le gonflement maxime se présente sous le même aspect dans les deux essais, comme on le peut voir figures *h*, *h'*.

DISSOLUTION PARTIELLE DE LA COUCHE EXTERNE DE L'AMIDON, EXFOLIATION DES COUCHES SOUS-JACENTES.

Les différentes fécules desséchées et rendues en partie solubles par une élévation de température entre 200 et 230°, ont éprouvé des modifications physiques légères, qui cependant m'ont paru suffisantes pour faire ressortir par des caractères spéciaux et démontrer l'existence des couches superposées, par conséquent la structure interne des grains.

Nous avons vu que le retrait inégal produit dans les couches par la dessiccation fait creuser le hile et apparaître les lignes concentriques intérieures d'accroissement.

Le deuxième effet produit par l'élévation de la température consiste dans la dissolubilité que la substance amylacée acquiert; cette modification physique, qui n'altère en rien la composition chimique, est variable suivant la cohésion dans les différentes fécules et dans l'intérieur de chaque grain.

On peut profiter de ces propriétés acquises pour montrer que la couche externe est de même nature que les parties internes, et exfolier ces différentes couches; pour atteindre ce but il faut : 1° opérer une dissolution locale de la couche enveloppante, à l'aide d'un dissolvant déposé sur une portion de la superficie de chaque grain ; 2° faire agir ce liquide successivement sur toutes les parties internes, afin que les couches les plus résistantes et

extensibles, sans être entièrement dissolubles, puissent s'exfolier et s'étendre ; 3° enfin, diminuer l'énergie dissolvante du liquide employé pour observer ces effets, même sur les fécules que l'eau seule dissoudrait trop vide ou trop complétement. On va voir comment toutes ces prévisions se sont réalisées.

On parvient à déposer une guttule d'eau sur chacun des grains isolément, en immergeant l'amidon dans une goutte d'alcool un peu hydraté ; l'alcool s'évapore plus vite que l'eau, en sorte qu'une guttule de celle-ci reste sur chacun des grains, et l'on peut observer son action, soit directement, soit en immergeant l'amidon dans l'alcool; enfin on peut augmenter les effets produits, soit en réiterant à plusieurs reprises l'immersion et l'évaporation, soit en ajoutant une plus forte quantité d'eau à l'alcool.

Les figures *a*, *b*, *c*, case 1 de la planche VII, montrent l'effet de cette réaction locale sur la fécule des pommes de terre chauffée préalablement à + 200°. On voit que la portion de la superficie sur laquelle la guttule d'eau s'est concentrée est attaquée et partiellement dissoute : ainsi la partie la plus extérieure, désagrégée par la chaleur, est alors attaquable par l'eau.

Les autres fécules subissent, de la part de l'eau posée localement, des influences semblables ; il en est de même des grains de fécule déjà privés par les progrès de la végétation des couches extérieures; on peut le reconnaître en examinant, figure 7 de la planche III, les résultats de semblables réactions sur ces grains préalablement chauffés à + 200°. Ainsi les couches sous-jacentes montrent encore ici des caractères semblables à ceux des couches superficielles.

Des phénomènes semblables ont lieu relativement à la fécule du *canna discolor*. (Voyez en *e*, fig. 1 de la pl. V.) Une légère modification, tenant à la plus grande flexibilité des couches de cette fécule déjà signalée plus haut, explique la forme sinueuse des bords de la surface attaquée par l'eau ; les figures 9 de la planche IV montrent les effets de la même expérience sur l'amidon du blé ; les figures 3, planche III, sur celle de Colombo;

les figures 3 *a*, *b*, de la planche VI, sur la fécule des bulbes de lis ; enfin les figures 10, *a*, *b*, *c*, planche VIII, montrent des effets analogues sur l'amidon des pois.

EXFOLIATION ARTIFICIELLE DES COUCHES CONCENTRIQUES COMPOSANT TOUTES LES FÉCULES.

Nous avons indiqué les causes de cette exfoliation dont nous présenterons ici des exemples.

La fécule des pommes de terre, sur laquelle nous venons de faire connaître l'action locale de l'eau, fut immergée (sous le microscope) dans l'eau alcoolisée : alors les différents grains suivant leur cohésion, leur âge ou la température toujours un peu variable à laquelle ils ont été soumis, présentèrent en s'hydratant des ruptures en divers sens, puis l'extension successive et la séparation sous différentes formes de plusieurs de leurs couches concentriques ; les figures 3, *p*, *q*, *r*, de la planche I, donnent une idée assez exacte de ces phénomènes.

Des exfoliations bien plus prononcées eurent lieu en opérant de la même manière sur la fécule chauffée préalablement à 210° : les figures *s*, *t*, de la même planche montrent deux grains de cette fécule se dissolvant en partie et s'exfoliant en plusieurs tuniques.

Des enveloppes concentriques, plus développées encore sur les trois grains figures *t'*, *t''*, *t'''*, sont rendues très-visibles par l'addition de l'iode. On comprend que, dans ce cas, les portions qui présentent le violet le plus foncé sont celles qui ont le plus d'épaisseur ou de cohésion : de là vient encore l'aspect de la portion centrale, sorte de noyau non encore exfolié.

Planche III, figure 8 : les mêmes effets, produits sur la fécule en partie dissoute par la végétation, prouvent encore que les couches sous-jacentes se peuvent développer et exfolier comme les plus externes.

Les figures 4 de la même planche montrent des phénomènes semblables opérés sur la fécule de Colombo.

Quant aux grains de la fécule du *pisum sativum*, sa conformation déprimée explique la particularité remarquable de son exfoliation en quelques feuillets se développant comme une carte repliée sur elle-même; pour exfolier cette fécule, douée de plus de consistance et de cohésion que les autres, il a fallu, comme pour faire prononcer son hile, porter préalablement la température du bain d'huile à + 220°. (Voyez en *d*, *e*, *f*, fig. 10, pl. VII.)

Aucune fécule ne laisse mieux voir les exfoliations successives des couches ou tuniques que celle des rhizômes du *canna discolor*.

Les figures en *f*, *f'*, *f''*, de la planche V montrent clairement ces exfoliations, rendues si évidentes par l'iode, qu'il serait inutile de les expliquer autrement : nous ajouterons seulement ici que les sortes de capsules exfoliées (fig. *f'*, *f''*) proviennent, en général, des grains le plus allongés; qu'en comprimant et faisant un peu glisser entre les lames de verre les grains ainsi préparés, on parvient aisément à séparer sur tous les points adhérents les capsules les unes des autres.

Nous verrons dans le chapitre suivant comment une foule de réactions chimiques, qui ont fait deviner la structure intime de l'amidon, dérivent elles-mêmes directement de cette structure et des propriétés de la substance amylacée; on reconnaîtra, en outre, combien les mêmes données sont indispensables à l'étude physiologique des fécules; enfin nous y retrouverons une cause de l'exfoliation spontanée de l'amidon durant la végétation des plantes et nous montrerons ses effets dans la quatrième section de ce mémoire.

DEUXIÈME SECTION.

EXAMEN CHIMIQUE DE L'AMIDON.

Différents termes d'hydratation, effets de la température, solubilité graduée suivant la cohésion, transformation en dextrine; fusibilité de l'amidon, action spontanée de l'eau et de la température : 1° sur les parties plus ou moins agrégées de l'amidon à l'état normal; 2° sur différentes fécules sèches ou hydratées; 3° au-dessous et au-dessus de zéro. — Gonflement par les solutions alcalines. — Théorie de l'empois, action de l'iode, du chlore, des acides, des bases, des sels et de la diastase. — Principaux phénomènes d'extensibilité et de contractibilité de l'amidon combiné avec l'iode. — Poids spécifique, composition élémentaire, et nombre équivalent de l'amidon et de la dextrine.

HYDRATATION ET DIFFÉRENTS TERMES DE DESSICCATION.

Les petits grains blancs, diaphanes, formés de couches solides concentriques, qui constituent les fécules amylacées de toutes les plantes, sont doués d'un pouvoir hygroscopique remarquable, surtout en ce qu'il se manifeste à des termes fixes, suivant des relations simples entre l'équivalent d'amidon et le nombre d'équivalents d'eau; il cède d'autant plus facilement à l'action hygrométrique des corps voisins 10, 4 et 2, équivalents d'eau, qu'il en contient davantage; enfin le dernier équivalent constitue une véritable combinaison, et ne peut être enlevé sans qu'on y substitue un équivalent d'une base énergique.

Ainsi l'amidon avec l'eau nous offre une première série d'hydratations faciles à défaire et à reproduire un grand nombre de fois, sans altérer en rien ses qualités organiques, pourvu qu'on élimine avec soin certaines influences, ou que, du moins, on abrége la durée du contact.

Nous verrons plus loin qu'on peut engager l'amidon dans des

combinaisons bien plus fortes sans détruire cette agrégation spéciale, que nous ferons bientôt ressortir par divers phénomènes curieux.

Quelques faits vont éclairer ces assertions.

Au moment où l'on vient d'extraire et de purifier par d'abondants lavages la fécule de pomme de terre, si on la met égoutter sur une substance capable d'absorber l'eau interposée, par exemple sur une dalle en plâtre, au bout de vingt-quatre à trente-six heures l'eau sera passée dans la dalle ou exhalée dans l'air, et la fécule ne céderait plus rien à une pression mécanique, mais elle peut perdre 0,4545 de son poids par la dessiccation à 100°, ce qui correspond à 15 équivalents d'eau pour 1 équivalent de fécule sèche. Un deuxième terme d'hydratation se produit lorsque la fécule sèche est exposée à + 20° centésimaux, dans un air presque saturé d'humidité. Pendant quatre à dix jours elle contient alors 0,3571 d'eau ou 10 équivalents; son volume apparent a augmenté 100 à 150.

L'amidon hydraté à ce point offre un aspect et des caractères physiques tout particuliers: sa blancheur éclatante a quelque chose du reflet de la neige; ses grains ont une propension telle à l'adhérence, qu'ils se tiennent en une masse sensiblement plastique, lors même que l'on en forme, par une légère pression, une lame posée verticalement, ayant moins d'un millimètre d'épaisseur pour 10 à 15 de hauteur; une plaque semblable ou plus épaisse, mise entre deux feuillets de papier léger, prend et garde les empreintes d'un cachet fortement appuyé, sans communiquer au papier une trace d'eau visible; enfin, secouée sur un tamis fin, cette fécule refuse d'y passer; jetée par flocons sur une plaque métallique chauffée à + 125°, ses grains se soudent à l'instant.

Lorsque, après 96 heures d'exposition sous une cloche entre plusieurs vases remplis d'eau, elle cessait d'augmenter de poids, pesée à diverses reprises 12, 24 et 48 heures plus tard, elle contenait toujours la proportion d'eau, équivalante à 10 atomes au delà de l'atome le plus fortement combiné.

Pour apprécier l'augmentation de volume opérée par ce terme d'hydratation, on exposa aux mêmes influences de l'humidité 17 centimètres cubes de fécule préalablement desséchée au maximum, mesurés ensuite après l'absorption des 10 atomes d'eau, et en effectuant dans les deux cas le plus grand tassement possible, on reconnut que le volume était porté à 25c,5 : l'augmentation était donc d'environ 50 pour 100 parties, l'addition d'un excès d'eau n'y changea rien.

La fécule conserve à l'air, dans les magasins secs généralement 0,1818 d'eau, proportion qui correspond à 4 atomes au delà de l'atome indispensable à la constitution de la fécule *libre*.

En cet état la fécule, quoique pulvérulente, offre encore un degré sensible d'adhérence entre ses grains; lorsqu'on la presse entre les doigts, elle fait éprouver à la peau une légère sensation de fraîcheur; jetée sur une plaque chauffée à 100° elle se dessèche sans s'agglomérer.

On arrive facilement à constater ce terme d'hydratation en abandonnant la fécule pendant 10, 15, 30 jours à l'air; la température moyenne étant de 16 à 20°, et l'hygromètre marquant 50 à 60°; alors, si l'on expose peu à peu la matière pendant 36 heures dans le vide sec à + 20°, on parvient à lui enlever deux équivalents d'eau : cette proportion est engagée avec une force très-notable, et ne s'exhale que par saccades : en effet après avoir maintenu le vide à 1 centimètre près, durant plusieurs heures, si on le pousse à 1 millimètre et qu'on l'y soutienne, le dégagement de la vapeur d'eau devient tumultueux et projette la substance jusqu'à 10 centimètres de hauteur. L'opération pourrait même être compromise par cet accident, si l'on n'avait le soin de garnir le tube d'un double tissu de soie très-fin et d'opérer très-lentement cette dessiccation. On élimine ensuite, comme nous allons le voir, deux autres atomes d'eau qui complètent 0,1818 d'eau; dans les mêmes circonstances, une demi-feuille d'un papier à filtrer dit de Berzélius, venant de Suède (papier que l'on peut considérer comme de la cellulose pure), contenait 276 milligrammes d'eau

sur 4200 milligrammes, ce qui correspond à 6,57 pour 100, c'est-à-dire environ le tiers de la proportion retenue par l'amidon [1].

La fécule gardée dans le vide sec à la température de 16 à 20° centésimaux retient 0,1 d'eau, ce qui correspond à 2 équivalents d'eau pour 1 d'amidon.

La fécule est coulante alors entre les doigts, n'occasionne aucune sensation appréciable de sécheresse ni d'humidité ; comprimée, elle ne contracte pas d'adhérence sensible; on la tamise facilement sans qu'il s'en émane beaucoup de poussière.

Il ne faut pas moins qu'une dessiccation soutenue pendant plusieurs heures dans le vide sec de 100 à 125° pour réduire la proportion d'eau à 1 équivalent qui représentente l'eau de combinaison intime.

Alors refroidie, la fécule se montre sous la forme d'une poudre extrêmement mobile, ne pouvant être tamisée sans répandre des nuages de poussière ; elle fait éprouver à la peau un sentiment de sécheresse, de chaleur et constriction ; exposée en couches minces à l'air ordinaire d'un appartement, elle absorbe rapidement de l'humidité, et bientôt son poids est augmenté de près d'un cinquième.

L'élimination des deux derniers atomes d'eau, séparables ainsi, a présenté encore les signes non équivoques d'une force très-notable; car, au moment où la température du bain étant à + 100°, on réduisit la pression à 1 millimètre ; l'émanation de vapeur, brusquement opérée, projeta la substance jusqu'à plusieurs centimètres de hauteur, bien que l'on eût agi, comme dans les essais précédents, sur moins d'un gramme.

Dans la panification, l'amidon hydraté à chaud, par une température de 100° que l'intérieur des pains acquiert dans le four, reste solide, souple; la pression n'en peut extraire d'eau : il

[1] Ces différences entre deux corps de composition chimique identique tiennent à la structure et à la plus faible cohésion de l'amidon, qui permettent à l'eau de le pénétrer et de l'hydrater en proportions définies.

contient alors 0,47 d'eau, proportion qui représenterait 16 équivalents.

Voici donc, en les récapitulant, les formules des principaux termes d'hydratation de la fécule, qu'un grand nombre d'expériences nous ont appris avoir une stabilité notable, bien que leurs mélanges pussent introduire des termes intermédiaires.

TABLEAU DES RELATIONS PRINCIPALES ENTRE L'AMIDON ET L'EAU DANS DES CIRCONSTANCES DÉTERMINÉES.

ÉTAT DE L'AMIDON.	FORMULES.	ÉQUIVALENTS.	EAU hygr.	AMIDON sec.
1° Anhydre (combiné).....	$C^{24}\,H^{18}\,O^{9}$.	1912,5	0	105,88
2° Séché de 100 à 140, vide sec[1].....	$(H^{2}\,O, C^{24}\,H^{18}\,O^{9})$	2025	0	100
3° Séché à 20°, vide sec.....	$(H^{2}\,O, C^{24}\,H^{18}\,O^{9}) + 2\,H^{2}\,O.$	2250	10	90
4° A l'air = 20°, hy. 0,6.....	$(H^{2}\,O, C^{24}\,H^{18}\,O^{9}) + 4\,H^{2}\,O.$	2475	18,18	81,82
5° ——— saturé d'humidité.....	$(H^{2}\,O, C^{24}\,H^{18}\,O^{9}) + 10\,H^{2}\,O.$	3150	35,71	64,39
6° A l'air, égoutté le plus possible	$(H^{2}\,O, C^{24}\,H^{18}\,O^{9}) + 15\,H^{2}\,O.$	3712	45,45	54,55

Sous tous ces états, excepté le dernier peut-être, l'amidon solide ne présente aucune quantité d'eau libre.

Le dernier terme le plus élevé de cette hydratation n'est peut-être que le résultat de l'interposition de l'eau entre les particules amylacées; les autres prouvent la perméabilité notable des grains d'amidon. Il se pourrait qu'ils représentassent des combinaisons analogues à celles qui constituent les hydrates multiples de l'acide sulfurique; du moins tous les essais coïncident si bien avec les nombres équivalents, qu'on serait porté à le croire.

La fécule de pomme de terre, dite sèche commercialement, correspond au n° 4; elle renferme un peu plus de 18 centièmes d'eau.

[1] C'est-à-dire, autant que cela est possible, sans altérer ou sans le combiner à une base. Nous verrons plusieurs de ces termes se reproduire à l'égard de la dextrine. Toutes ces expériences ont été faites sur la fécule de pomme de terre.

La fécule vendue humide (dite *fécule verte*) correspond au n° 6; elle contient 45,45 d'eau pour 100, ou les deux tiers de son poids, de fécule appelée sèche.

Sous les quatre premiers états la fécule reste en poudre facile à tamiser. Cependant elle offre des différences appréciables au tact; rien n'est changé dans ses formes sous le microscope, seulement le volume de ses grains augmente avec l'hydratation. Nous reviendrons plus loin sur des applications théoriques et pratiques de ces états particuliers d'hydratation.

Cette faculté absorbante, très-remarquable, rapproche encore l'amidon de plusieurs substances organisées, tandis qu'elle l'éloigne beaucoup d'un grand nombre de matières compactes inorganiques ou désorganisées, telles que les métaux, le soufre, le sulfate de baryte et beaucoup de sels insolubles, le sable, la houille, l'anthracite, etc. qui bien que pulvérulentes, peuvent à peine retenir quelques centièmes d'eau sans que leur superficie soit évidemment mouillée.

EFFETS DE LA TEMPÉRATURE SUR L'AMIDON ET SUR DIFFÉRENTES FÉCULES.

Nous avons examiné, dans la première section, comment on parvient, sous le microscope, à mettre en évidence la structure intime des fécules, en faisant éprouver des retraits variés aux couches plus ou moins compactes de chaque grain, facilitant ainsi leur hydratation, leur exfoliation et même leur dissolubilité; nous allons maintenant examiner sous le rapport chimique en quoi consistent ces phénomènes, et nous ferons connaître leurs applications dans la dernière partie de ce mémoire.

Toutes les fécules, chauffées uniformément dans un tube plongé pendant une heure dans un bain d'huile à + 150°, ne contiennent plus qu'un équivalent d'eau; elles sont devenues beaucoup plus aptes à s'hydrater, même après le refroidissement: cela arrive surtout à celles dont le retrait a ouvert le hile; mais, dans ce cas, l'eau qui s'introduit dans leur intérieur reste ac-

cessible ne parvient pas à troubler l'arrangement des parties, à les désagréger, et rien ne se dissout. (Voyez les fig. 1, *a*, *a*, *a'*, *a''*, de la pl. II.)

SOLUBILITÉ GRADUÉE DES FÉCULES SUIVANT LEUR COHÉSION; PREMIER MODE DE TRANSFORMATION EN DEXTRINE.

Une température soutenue entre 200 et 220°, et bien également répartie, telle qu'on peut aisément l'obtenir en plaçant la matière dans un tube plongé dans un bain d'huile, désagrège toutes les fécules depuis celle des très-jeunes tubercules de pommes de terre et des panais qui résistent peu, jusqu'à l'amidon des pois presque mûrs, qui résiste beaucoup plus.

Ces changements sont tellement favorisés par un certain état d'hydratation de la fécule, à l'instant où la réaction s'opère, qu'on parvient à les déterminer en élevant la température jusques à 160° seulement; c'est qu'alors le contact mieux établi facilite la contraction et un commencement de fusion qui défait graduellement l'agrégation spéciale dans toutes les parties des grains d'amidon.

Ainsi la fécule ayant été, comme nous venons de le voir, peu à peu déshydratée préalablement par une température soutenue à 150° dans le vide sec, n'aura sensiblement rien perdu de son insolubilité (après le refroidissement à l'air). Si l'on continue à la chauffer jusqu'à 200°, et qu'on la soutienne à ce terme une demi-heure, on ne verra encore aucun dégagement, la substance n'aura perdu de son poids qu'une quantité insignifiante, sa couleur sera très-faiblement ambrée; cependant un commencement d'agglomération aura lieu entre les grains, et la plus grande partie de leur substance sera devenue soluble dans l'eau froide.

Ces phénomènes pourront être produits par une température de 160°, à la seule condition de porter immédiatement à ce terme la fécule contenant quatre atomes d'eau.

Si l'on opère de même sur la fécule hydratée, à 10 équivalents d'eau, elle se colorera un peu plus, et sera agglomérée en une

masse demi-fondue soluble. Nous allons faire connaître un moyen d'augmenter cet effet, en facilitant plus encore le rapprochement des particules.

LIQUÉFACTION DE LA FÉCULE À + 200°.

Au lieu de porter brusquement la température au terme voulu, on facilitera plus encore les réactions précipitées en empêchant la volatilisation de l'eau d'hydratation.

A cet effet, on place dans un tube en verre épais 10 grammes de fécule séchée à l'air; on ferme exactement à bouchon forcé, et l'on introduit le tout dans un double tube en cuivre dont le couvercle à clavette appuie le bouchon du tube interne.

On plonge à demi dans un bain d'huile réglé à + 200°, puis on laisse une demi-heure à une heure, en s'éloignant de crainte d'explosion; au bout de ce temps on trouve dans le tube en verre une masse homogène et diaphane, qui évidemment a subi une fusion complète. Le même effet à lieu en chauffant brusquement dans l'air entre 205 et 215, avant que la fécule se déshydrate, mais la substance fondue est plus colorée et plus altéré que dans le vase clos.

L'effet principal des réactions qui précèdent est le même sur toutes les fécules; il est d'autant plus complet et plus prompt aussi que la substance est plus pure et les grains plus jeunes; les parties le moins agrégées deviennent d'abord solubles, passent par les mêmes phases de désagrégation que les premières attaquées, et donnent successivement avec l'eau d'iode la température, les acides, les sels neutres, les bases, absolument les mêmes phénomènes que nous exposerons ci-après; enfin les maxima de solubilité à froid obtenus ainsi produisent la dextrine, qui diffère d'autant plus par ses propriétés physiques que, plus complétement désagrégée et soluble, on la compare avec une fécule plus fortement agrégée, douée de plus de cohésion.

La dextrine ne préexiste donc point telle dans un grain d'ami-

don intact; mais tous les agents si divers de désagrégation tendent à la produire. Ce nom lui convient d'autant mieux qu'il n'indique pas cette préexistence, et peut s'appliquer au même corps venu d'une origine différente[1].

Nous démontrerons que ces propriétés qui distinguent la dextrine de l'amidon, si importantes à considérer, tiennent au groupement des particules. Examinons maintenant les effets combinés de l'eau et de la température, puis nous exposerons les réactions de l'iode et des autres corps sur l'amidon.

ACTION SIMULTANÉE DE L'EAU ET DE LA TEMPÉRATURE.

Nous verrons qu'en augmentant, par une dessiccation portée près de sa limite, l'avidité de l'amidon pour l'eau, comme on l'aurait pu faire relativement à de l'argile, du plâtre, de la craie, et pour divers autres corps insolubles hydratables, on parvient à gonfler, rompre et désagréger une partie des grains de la fécule dans l'eau, par une température de + 40°.

Mais il en est autrement lorsque, mettant d'abord à froid l'eau en contact avec l'amidon, on élève peu à peu la température du liquide.

Afin de préciser l'étude de cette réaction, nous l'appliquerons à la fécule extraite de toute la masse tuberculeuse des pommes de terre, et nous ferons voir qu'elle varie suivant l'âge de cette fécule.

Si l'on prend, par exemple, 1 gramme de fécule, qu'on le délaye dans 15 grammes d'eau, que l'on élève graduellement la température en agitant sans cesse, aucun changement ne se manifestera jusqu'à ce que le mélange soit parvenu entre le 55e et le 56e degré centésimal : les grains très-jeunes, doués d'une faible cohésion, auront alors absorbé plus d'eau, le gonflement des parties internes en aura fait entr'ouvrir quelques-uns, et une très-petite quantité de substance se sera répandue dans le liquide;

[1] Au tissu végétal, par exemple, désagrégé et dissous à l'aide de l'acide sulfurique à froid.

on reconnaîtra ce phénomène, soit au microscope, soit à l'aide de l'iode, soit enfin en observant l'augmentation du volume de la fécule déposée.

Si l'on élève la température peu à peu davantage, les mêmes effets produits sur un plus grand nombre de grains deviendront de plus en plus sensibles; au 60e degré, beaucoup encore n'auront point atteint leur gonflement ultime, ni laissé répandre une partie de leur substance dans l'eau.

La consistance d'empois ne se prononcera pas avant que la température se soit élevée à 72°; elle augmentera encore d'une manière notable jusqu'au 100e degré (lors même que la quantité d'eau serait maintenue constante, soit en faisant retomber dans la masse le produit de la condensation, soit en compensant par une addition d'eau l'effet de l'évaporation) : alors les grains de fécule seront gonflés au point d'occuper tout le volume du mélange; ils seront d'autant plus pressés les uns contre les autres que leur tendance à un plus fort gonflement maintiendra leur force élastique; celle-ci sera vaincue seulement par le défaut d'espace, le volume du liquide étant insuffisant.

EXTENSION LIBRE ET GRADUÉE DE L'AMIDON PAR L'EAU ET LA TEMPÉRATURE.

Ayant délayé 1 gramme de fécule sèche dans 25 centimètres cubes d'eau bouillie, refroidie à + 50°, on porta le mélange en l'agitant à 54°, au bout de cinq minutes l'iode ni le microscope ne signalaient aucun changement. On porta alors de 56 à 57° la température, qui fut soutenue pendant quinze minutes. On observa, après le refroidissement à + 20°, durant un repos de quatre heures, que le volume du dépôt, primitivement égal à 1c,55, était porté à 2 centimètres cubes, dont 0,45 de dépôt léger. L'iode, en léger excès dans le liquide surnageant, le rendit bleu, translucide encore à 5 centimètres d'épaisseur.

En opérant de même et soutenant quinze minutes la température à 60°, le volume du dépôt devint égal à 3,75 centimètres

cubes, dont 2,25 de dépôt léger. Le liquide limpide prit avec l'iode une couleur bleu-foncé opaque à 1c,4 d'épaisseur.

Dans les mêmes circonstances, la température de 65° avait augmenté le volume du dépôt jusqu'à 11 centimètres cubes, dont 10 de dépôt léger; le liquide clair devenait bleu intense par l'iode et opaque en une couche de 0c,6 d'épaisseur.

Pour 70 à 72° on eut un dépôt entièrement léger, demi-transparent, de 21 centimètres cubes, sans dépôt lourd opaque; le liquide surnageant prenait avec l'iode une forte coloration et une opacité complète à 0c,4 d'épaisseur.

L'expérience fut encore faite à 95°: le mélange contenu dans le même tube, refroidi et maintenu durant dix heures à la température de 20°, à 15, sans rien laisser déposer, avait acquis une légère consistance d'empois.

Dans tous ces essais, le volume du liquide avait été ramené au volume total primitif.

Sous le microscope, le gonflement de tous les grains les montrait sous les formes indiquées (fig. 4, *h*, *h'*, pl. I; voyez aussi fig. 2, *A*, *A'*, pl. V) : ils occupaient successivement les volumes intermédiaires, entre celui de leur état normal et le gonflement maxime dû à la température de 100°; par le refroidissement, on les voyait se contracter et former des plis; à 60°, la substance interne gonflée faisait hernie au dehors de plusieurs grains.

RUPTURE ET DISSOLUBILITÉ A FROID.

On peut cependant faire rompre les grains les moins résistants des fécules desséchées préalablement à + 140 dans le vide, en laissant leur température s'abaisser seulement à + 40° centésimaux, puis les jetant dans l'eau non aérée également à + 40°: alors, suivant l'âge ou l'agrégation plus ou moins forte des grains, l'eau pénètre dans quelques-uns avec assez d'énergie et de rapidité pour les gonfler, opérer des déchirures visibles au microscope et désagréger les parties les plus divisées, qui, se ré-

pandant alors dans le liquide, y peuvent être décelées par l'iode; d'autres réactifs démontrent leur contractilité. Nous verrons qu'en augmentant l'énergie des mêmes moyens, on pousse plus loin cette désagrégation, qui atteint par degrés les couches plus anciennes et le plus fortement agrégées de tous les grains d'amidon.

CONTRACTION DE L'AMIDON HYDRATÉ, PAR LE REFROIDISSEMENT.

L'extensibilité remarquable de l'amidon hydraté sous l'influence de la chaleur, me fit penser qu'un effet inverse serait produit par l'abaissement de la température : plusieurs expériences ont justifié cette hypothèse : ainsi l'amidon, délayé et chauffé dans 50 à 100 fois son poids d'eau, à des températures variées, entre 70 et 100°, puis jeté sur un filtre, laissa couler des liquides diaphanes, incolores, qui, soumis à la température de — 10°, puis dégelés, offrirent une grande partie de la substance contractée, apparaissant en flocons volumineux avec ses propriétés caractéristiques. Le magma resté sur le filtre, complétement égoutté, puis soumis à la congélation, fut tellement contracté, qu'après le dégel il s'en sépara spontanément une eau limpide et abondante.

Le même effet de contraction, opéré sur l'empois par la congélation, permet d'en éliminer l'eau qui exsude facilement après le dégel comme d'une matière spongieuse, sous une faible pression; il peut donner une sorte de cartonnage moulé, blanc, opaque, en le laissant égoutter et sécher à l'air.

SÉPARATION, ENTRE L'AMIDON ET L'EAU, PAR UN SIMPLE RAPPROCHEMENT DANS LE VIDE À FROID.

Des évaporations dans le vide et des contractions alternatives par congelation séparent l'amidon de 50 à 200 fois son volume d'eau dans laquelle on l'avait distendu ou dissous, par une élévation de température à + 70 ou 90°. Ainsi, par exemple, un

gramme de fécule rapidement porté à 70° dans 50 grammes d'eau, puis refroidi et congelé, laissa sortir en dégelant un liquide clair, dont 25 centimètres cubes furent rapprochés à 0 dans le vide; le résidu, délayé sans frottement avec 4 grammes d'eau à + 10°, contenait des flocons que l'on sépara; le liquide clair qui en fut extrait, rapproché encore à siccité dans le vide et délayé, offrit quelques flocons que la congélation resserra, et qui, séparés du liquide, avaient toutes les propriétés de l'amidon; quant au liquide, il ne contenait plus que des traces impondérables d'amidon; rapproché à sec et délayé, il laissa voir quelques parcelles floconneuses, à peine perceptibles et bleuissant par l'iode, mais impondérables.

SÉPARATION DE L'AMIDON DISSOUS DANS L'EAU, EN FILTRANT CELLE-CI AU TRAVERS DU TISSU DES RADICELLES.

L'amidon, même très-étendu dans l'eau, conserve entre ses particules de telles relations, qu'un simple abaissement de température fait contracter celles-ci et les agrége entre elles; un tissu considérablement plus fin que tous les filtres de nos laboratoires peut aussi déterminer leur agglomération et les arrêter au passage. J'ai trouvé ce tissu filtrant dans les spongioles des radicelles des plantes; l'expérience réussit sans difficulté en opérant ainsi : le liquide diaphane et refroidi d'une partie d'amidon chauffé à 100°, dans 100 parties d'eau, fut réparti entre deux éprouvettes, dans l'une on implanta les radicelles d'un bulbe de jacinthe, et l'on vit au bout de 20 heures de légers flocons d'amidon se séparer; tandis que, dans l'autre éprouvette, la limpidité n'avait pas été troublée.

La précipitation augmente graduellement autour des radicelles. Si l'on plonge ensuite celles-ci dans l'eau pure, puis dans une solution aqueuse d'iode, on voit les flocons se détacher en une belle nuance bleue sur le fond jaunâtre des radicelles. Un frottement léger enlève toute la surface bleuie; alors les sections dans l'axe

ou perpendiculaires à l'axe des radicelles sont complétement exemptes de substance bleuissable; l'amidon n'a donc pu pénétrer dans le tissu; la superficie au bout des spongioles a seule retenu une très-légère couche amylacée adhérente. C'est un effet de la succion plus forte en ce point; toutefois, le tissu sous-jacent n'a été pénétré que par l'eau, éliminée pure des flocons amylacés.

Ce mode d'expérimentation, varié de plusieurs manières, et répété en employant les radicelles de quelques autres plantes, donna lieu aux mêmes phénomènes. Lors même qu'on implante des radicelles dans un empois formé de 25 parties d'eau pour une de fécule et refroidi, elles ne puisent encore que de l'eau exempte d'amidon.

GONFLEMENT ÉNORME DE L'AMIDON PAR LA PÉNÉTRATION À FROID D'UNE EAU ALCALISÉE.

Une expérience curieuse laisse distinctement apercevoir l'effet de l'extensibilité remarquable de l'amidon.

On alcalise faiblement de l'eau, par exemple, en y dissolvant 0,02 de son volume d'une solution saturée de soude caustique; puis on y projette sous le microscope des grains d'amidon, et l'on voit ceux-ci se gonfler considérablement, se dérider, puis s'étendre beaucoup et assez irrégulièrement pour former plusieurs plis allongés. Les figures 1, *n*, *o*, *p*, de la planche II, montrent ce phénomène graduellement opéré.

MESURE DU GONFLEMENT DE L'AMIDON.

En comparant les grains d'amidon avant et après leur gonflement par l'eau alcalisée, on vit que la surface de leur projection horizontale était augmentée dans le rapport de 1 à 30; ils avaient d'ailleurs, tout en se gonflant, subi une dépression difficile à mesurer, mais dont nous avons tenu compte en portant l'augmentation totale de 80 à 100 fois le volume primitif.

Deux expériences nous ont paru propres à vérifier approximativement ces mesures : l'une consistait à délayer de l'amidon à froid dans un volume d'eau alcalisée moindre que celui qu'on lui supposait pouvoir acquérir, et, dans ce cas, ses grains, gonflés les uns sur les autres, devaient occuper le volume total, retenus même dans leur gonflement par le manque de liquide, et maintenus adhérents par la portion de substance qui, plus faiblement et plus récemment concrétée, s'est désunie puis interposée entre ses grains.

L'autre consistait dans l'emploi d'un excès de liquide qui permît à tous les grains de prendre leur maximum de développement, puis de se précipiter ensuite en se reposant les uns sur les autres.

Les faits suivants confirmèrent ces prévisions. 1° L'on agita pendant deux minutes l'amidon à froid, avec 50 fois son poids d'eau, contenant 0,02 de solution de soude à 36°, ce qui correspond à moins de 0,01 de soude pure. Les grains gonflés occupèrent effectivement toute la masse, et le liquide ne surnageait pas même au bout de vingt-quatre heures. 2° La même expérience fut répétée en employant 150 parties d'eau alcalisée pour une d'amidon : les grains gonflés commencèrent, en moins d'une minute, à se déposer; et après vingt-quatre heures, surnagés par un liquide diaphane, ils occupaient un volume de 73 fois; leur volume primitif, observé au bout de vingt-quatre heures, dans l'eau pure, avant le gonflement [1].

PLUS FORT GONFLEMENT OPÉRÉ PAR UN EFFET D'ENDOSMOSE.

Si les grains plissés n'avaient pas éprouvé de déchirures, et si les grains déchirés avaient conservé dans toutes leurs parties la propriété spongieuse, un nouveau gonflement devait déplisser les premiers et augmenter le volume de tous. J'essayai d'obtenir ces

[1] Un gramme de fécule non déformée occupe dans l'eau pure à + 10° le volume de 1 cent. cub. 55 avec l'eau interposée.

effets et j'y parvins à l'aide d'un phénomène d'endosmose que produisit une addition d'eau pure.

Ainsi en ajoutant de l'eau au mélange de la première expérience, 100 fois le poids de l'amidon, agitant et examinant sous le microscrope, on obtint le déplissement de la plupart des grains et l'augmentation du volume de tous; celle-ci fut d'ailleurs manifeste au bout de douze heures, car alors la masse des grains d'amidon occupait, sous le liquide diaphane surnageant, 96 fois le volume primitif de l'amidon employé.

La soude et la potasse, agissant ainsi d'une façon toute différente de l'ammoniaque, on peut déduire de cette observation une preuve à l'appui d'une théorie chimique, et un moyen d'essai des composés et sels ammoniacaux que nous décrirons plus loin.

COHÉSION DIFFÉRENTE DANS LES AMIDONS DE DIFFÉRENTS ÂGES.

Il me sembla que l'on pourrait vérifier, à l'aide de la réaction des solutions alcalines faibles, si l'amidon est doué de degrés différents de cohésion, suivant son âge. A cet effet, de très-petits tubercules de pommes de terre, n'ayant encore que trois à quatre millimètres de diamètre, furent écrasés entre les doigts dans l'eau; l'amidon très-fin qui en sortit se déposa lentement. Quelques grains mis en contact sur le porte-objet du microscope, avec une solution de soude à 36°, étendue de 100 fois son volume d'eau, se gonflèrent considérablement. Plusieurs d'entre eux, irrégulièrement allongés, formèrent de longs replis; mais dans la plupart la dilatation, plus uniforme que dans les amidons moins jeunes, laissait voir une figure arrondie peu ou pas plissée, ou sans déchirures. Une addition d'eau acidulée et d'iode rendait plus évidente cette particularité remarquable.

Une solution alcaline deux fois plus faible avait donc produit les phénomènes précités; la même observation fut faite en employant l'amidon de jeunes tubercules d'*oxalis crenata* [1].

[1] C'est ainsi que les différents grains d'amidon d'un même tubercule se rompent et se dé-

Afin de rechercher si la plus petite dimension des grains n'était pas aussi une circonstance déterminante, je soumis aux mêmes essais de l'amidon extrait de batates bien mûres; il exigea l'emploi de la plus forte solution pour produire les mêmes phénomènes, toutes choses égales d'ailleurs. Ainsi les dimensions ont peu ou pas d'influence quand elles ne résultent pas de l'âge ou de particularités qui auraient modifié la cohésion.

Il était probable que l'énergie absorbante, accrue dans l'amidon par une dessiccation à + 120° dans le vide sec, favoriserait aussi beaucoup la pénétration de l'eau alcalisée. En effet cette dernière, deux fois plus étendue (c'est-à-dire ne contenant que 0,01 de solution), fit gonfler l'amidon, ainsi desséché, des pommes de terre mûres; quelques grains étaient mêmes déchirés par suite, sans doute, de la rapidité du gonflement.

Des phénomènes analogues eurent lieu en employant des solutions d'acide sulfurique; mais il fallut donner à celles-ci une très-forte acidité, car la solution qui fit gonfler et rompre les grains mûrs d'amidon contenait 0,3 de son volume en acide à 66°, et la plus faible, qui suffit pour gonfler et rompre les plus jeunes amidons, contenait 0,2 de son volume d'acide concentré. Il faut donc environ 100 fois plus d'acide sulfurique que de soude pour opérer à froid la désagrégation de la fécule.

On constatait facilement des déchirures sur la plupart des grains gonflés; enfin on put observer le développement continuant après la rupture, et souvent même se prononçant dans la matière interne qui se gonflait en dehors. La solution d'iode rendit encore tous ces phénomènes très-distincts sous le microscope.

THÉORIE DE LA FORMATION DE L'EMPOIS ET DE SES CHANGEMENTS PHYSIQUES.

Il n'a pas fallu moins que toutes les notions qui précèdent sur les propriétés organiques, physiques et chimiques de l'amidon

tendent successivement dans l'eau à des températures différentes; alors ces effets suivent évidemment les degrés d'une cohésion acquise avec l'âge des granules amylacés.

pour comprendre et expliquer nettement la formation et les altérations mécaniques de l'empois.

Nous avons vu, soit par l'examen microscopique dans la première et la deuxième section de ce mémoire, soit par les réactions ci-dessus indiquées sur de plus grandes masses, l'extension considérable acquise par les fécules lorsqu'elles absorbent l'eau à froid sous l'influence de 0,01 de soude ou de potasse : nous avons montré comment, l'élévation de la température facilitant aussi l'hydratation et l'extensibilité de la matière amylacée, chaque grain dans ce cas se gonfle considérablement, de manière à pouvoir occuper plus de 30 fois son volume ordinaire. Or, toutes les fois que l'espace dans le liquide manque à ce développement, tous ces grains sont nécessairement en contact, pressés les uns contre les autres; souples d'ailleurs et doués d'une certaine élasticité, ils se trouvent maintenus adhérents par leurs parties moins résistantes disséminées dans le liquide ambiant; ils occupent donc ainsi tout le volume du mélange, et lui donnent la consistance gélatineuse que chacun d'eux possède en particulier. (Cet effet, en somme, est comparable à celui obtenu à froid par les solutions alcalines.)

Après le refroidissement, la contraction propre encore à la fécule hydratée, et dont nous avons exposé divers exemples, resserre les grains gonflés, les scelle plus étroitement par la matière amylacée libre qui les environne : de là cette contraction qui durcit l'empois, le fait fendiller, et laisse exsuder parfois une portion du liquide qui entraîne en dissolution les parties très-faiblement agrégées.

EMPOIS CONVERTI EN MUCILAGE À 140°.

Dans l'expérience qui précède, le ramollissement de l'amidon hydraté résultait sans doute de la désagrégation plus avancée par une température plus longtemps soutenue; on devait donc obtenir probablement un effet plus sensible encore à l'aide d'une plus haute température.

Afin de vérifier cette hypothèse, je disposai une éprouvette en cuivre capable de résister à une forte pression. 57 grammes d'empois très-consistant (formé de 7 grammes d'amidon et de 50 centimètres cubes d'eau) furent introduits dans un tube que l'on assujettit dans l'éprouvette après l'avoir hermétiquement fermée; on chauffa alors le tout à 140° durant une demi-heure.

L'appareil refroidi, on en retira la substance amylacée; elle avait perdu sa consistance forte, qui s'était changée en une fluidité mucilagineuse.

Ainsi dans ce dernier cas, pour 100 parties d'eau, 14 parties d'amidon donnèrent moins de consistance que 5 parties dans la première expérience, ou, à poids égal, firent trois fois moins d'effet.

Nous montrerons plus loin d'autres résultats, qui seront aussi d'autres preuves de ces différents degrés de désagrégation de la substance amylacée.

ACTION DE L'IODE SUR L'AMIDON.

Phénomènes de coloration et de décoloration de l'iodure; effets remarquables de sa contractilité. — Variations de couleur et de stabilité produites par toutes les causes de désagrégation de la substance amylacée; composition de l'iodure d'amidon.

Un des caractères les plus curieux de l'amidon est sa coloration bleue ou violette sous l'influence de l'iode.

Cette couleur est d'autant plus intense, plus rapprochée du bleu pur et plus stable, que l'amidon est mieux agrégé.

L'effet de la désagrégation graduelle de la substance amylacée est de lui faire prendre, lorsqu'ensuite on l'unit à l'iode, des nuances violettes virant de plus en plus au rouge; la même substance, aux premiers degrés de son agrégation croissante dans les plantes, développe, sous l'influence de l'iode, des nuances rougeâtres, violettes, puis bleues

La contractilité de l'amidon distendu ou dissous dans l'eau,

puis bleui est d'autant plus grande, sa précipitation plus facile, la dissolution par la chaleur plus lente et plus difficile, que la substance amylacée a été moins fortement divisée préalablement dans le liquide.

Les parties moins désagrégées sont aussi celles qui se combinent les premières avec l'iode, et qui le retiennent plus fortement en présence de l'eau, de l'air, de la lumière et de la chaleur.

L'élévation de la température, la lumière, les bases, l'alcool et divers agents enlèvent l'iode à l'amidon.

L'abaissement de la température, la présence des acides, des sels neutres, etc. contractent l'iodure bleu et parfois le font reparaître au milieu des liquides décolorés; le chlore, en faibles proportions, produit le même effet quand la décoloration résulte d'une formation d'acide iodhydrique ou d'un iodure minéral.

La coloration bleue par l'iode ne peut être attribuée à l'action de l'air ni à la présence d'un produit volatil dans l'amidon.

Nous allons démontrer par des faits toutes ces assertions.

Dans les rapports sur nos précédents mémoires, les commissaires de l'Académie indiquèrent trois expériences utiles; je les ai faites, voici leurs résultats: l'iode produit la coloration bleue sur l'amidon dans l'eau privée d'air comme dans l'eau aérée; la fécule, chauffée même à + 140° dans l'eau, bleuit encore par l'iode après le refroidissement, bien que l'empois très-consistant, traité ainsi, n'ait plus alors qu'une viscosité et une transparence analogues à celles de la gomme adragante délayée à l'eau froide.

L'amidon, chauffé et dissous par la diastase, dans un appareil clos, ne donne aucun produit distillé auquel on puisse attribuer la propriété de bleuir par l'iode. Ainsi, ce n'est point un corps étranger volatil qui communique à l'amidon cette propriété.

PÉNÉTRATION DE L'IODE DANS LES GRAINS D'AMIDON.

Si l'on verse sur de la fécule à l'état normal une solution très-affaiblie d'iode, la coloration en violet est assez superficielle pour

que les grains conservent leur transparence sous le microscope.

De plus fortes proportions d'iode augmentent tellement l'intensité de la coloration, que les grains semblent noirs et opaques, lors même qu'ils ont seulement un centième de millimètre ; la combinaison et la coloration ont pénétré jusques au centre; on s'en assure en lavant puis cassant plusieurs grains sous le microscope : les solutions très-affaiblies (à 0,001 de soude et de potasse) décolorent également jusques au centre tous les grains bleuis. Lorsqu'on opère sous le microscope cette décoloration à l'aide de l'ammoniaque, on voit les couches extérieures perdre les premières leur couleur, puis le phénomène gagner graduellement jusques au centre.

VARIATION DES NUANCES COMMUNIQUÉES À L'AMIDON PAR L'IODE.

La fécule, exempte de toute altération, désagrégée dans mille fois son poids d'eau, par une température de 100°, donne une solution qui, filtrée, acquiert une belle teinte bleue par l'iode; un excès de réactif, par sa propre coloration jaune, fait virer la nuance en vert.

Une foule d'altérations et un faible degré d'agrégation, dont les jeunes grains d'amidon entiers offrent souvent des exemples, donnent à la matière amylacée la propriété de se teindre en rouge fauve par l'iode, en sorte que le mélange des parties plus ou moins altérées ainsi donne diverses nuances de violet.

La désagrégation et la dissolubilité obtenues à différents degrés en traitant la fécule, soit par la température entre 200 et 220°, soit par l'acide sulfurique concentré ou étendu, soit par la diastase, en arrêtant chacune de ces réactions à plusieurs termes, donnent, à la substance amylacée, la propriété d'offrir en présence d'un léger excès d'iode, des colorations violettes, virant de plus en plus au rouge.

Les premières gouttes de la solution d'iode produisent une coloration bleue en se combinant d'abord aux parties le moins

désagrégées; de nouvelles additions font virer la nuance au violet de plus en plus rougeâtre.

Les solutions alcalines de soude et de potasse désagrégent évidemment moins la fécule que la haute température, les acides forts et la diastase; car, dans le premier cas, le liquide conserve très-longtemps une consistance mucilagineuse prononcée; cette moindre désagrégation se manifeste aussi par l'iode, qui donne encore des nuances bleues.

D'après les observations de M. Lassaigne, la combinaison qu'on obtient en versant peu à peu une solution alcoolique d'iode dans la partie dissoute de la fécule extraite à froid par un long broyage, est caractérisée en ce que sa solution aqueuse s'affaiblit en couleur au fur et à mesure que sa température s'élève, et jusqu'à ce qu'enfin elle disparaisse à une température de + 89 à 90° centésimaux.

En laissant refroidir la liqueur décolorée, on la voit reprendre peu à peu une légère teinte bleue qui se fonce de plus en plus à mesure que la température s'abaisse, et acquiert ensuite la même intensité qu'avant d'avoir été chauffée.

ACTION DE LA LUMIÈRE SUR L'IODURE D'AMIDON DISSOUS.

La lumière exerce une action décomposante sur la solution d'iodure d'amidon dans l'eau : diffuse, elle affaiblit lentement la couleur bleue; mais cet effet se produit en quelques heures lorsque la solution est exposée à l'action directe des rayons du soleil, la température étant de 30 à 40 degrés.

Ce phénomène, comme l'a expliqué M. Guibourt (*Journal de Chimie médicale*, t. V, 1829), est dû à la décomposition de l'eau, qui forme de l'acide hydriodique, et à la volatilisation de l'iode; nous verrons plus bas qu'il peut rester de l'iodure d'amidon non visible directement.

M. Lassaigne a fait voir que la solution, ainsi décolorée par une exposition aux rayons ardents du soleil, peut reprendre en partie

sa belle couleur bleue par l'addition de quelques gouttes de solution aqueuse de chlore; les résultats suivants sont encore dus à cet habile chimiste : 1° des solutions de chlore et de brôme, mêlées à la solution d'iodure d'amidon, la décolorent à l'instant; il se produit des chlorures et des bromures d'iode qui restent dans la solution; l'acide sulfureux ajouté rétablit peu à peu la coloration, en transformant le chlore et le brôme en acides hydrochlorique et hydrobromique, et passant lui-même à l'état d'acide sulfurique par l'oxygène de l'eau.

La potasse, la soude, la chaux, l'eau de baryte et l'ammoniaque, décolorent l'iodure d'amidon, comme l'ont remarqué MM. Colin et Gaultier de Claubry; lorsqu'on sature ces bases par un acide, la combinaison bleue est reproduite.

La série suivante de mes expériences explique et complète les faits précités, elle met en évidence la structure les caractères organiques et les propriétés physiques et chimiques de l'amidon. On y trouvera notamment l'explication des phénomènes de l'iodure blanc et de la réapparition de la coloration bleue, par des corps incapables d'isoler l'iode de l'acide iodhydrique; enfin, on y reconnaîtra la cause des variations dans les résultats des essais sur l'équivalent d'iode combiné avec l'amidon.

ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR L'IODURE D'AMIDON ÉTENDU OU DISSOUS DANS L'EAU.

Afin de déterminer la limite de la température utile à la décoloration du composé bleu, j'ai cherché quel serait le degré au-dessous duquel il n'y aurait plus de diminution sensible d'intensité dans la coloration. On reconnaît ainsi qu'à 64°, en présence d'un excès d'iode, la coloration bleue est permanente; tandis qu'à 66°, l'iodure se dissout complétement dans une suffisante quantité d'eau, et perd toute sa couleur bleue, qu'il reprend par le refroidissement, si l'on a opéré dans un tube clos, autrement l'intensité diminuerait, surtout par la volatilisation de l'iode. La décoloration exige des températures plus élevées au fur

et à mesure que l'on augmente les proportions d'amidon dans le liquide : elle paraît donc, ici encore, tenir à l'extension de l'iodure qui est dissous en plus forte proportion lorsqu'on élève davantage la température. Cette décoloration a lieu sans doute lorsque les groupes moléculaires du composé sont assez écartés pour laisser passer, sans la réfraction spéciale, les rayons de la lumière.

OPACITÉ DE L'IODURE D'AMIDON.

L'iodure d'amidon est opaque sous une épaisseur d'un centième de millimètre; on le constate aisément en interposant entre l'œil et la lumière une solution de 1 gramme d'iodure dans 1,000 centimètres cubes d'eau, contenue entre deux lames parallèles en verre, écartées de 1,000 centièmes de millimètre ou d'un centimètre, puis en s'assurant que la lumière n'est pas sensiblement transmise au travers de la couche liquide.

Cette observation avait beaucoup contribué à me faire considérer l'iodure bleu d'amidon comme distendu plutôt que dissous, et cette opinion m'a dirigé vers les expériences suivantes, qui toutes ont réussi.

En admettant la dissolubilité de ce composé bleu, on ne peut nier que la disposition particulière de ses particules ne soit telle qu'une foule d'agents les séparent du liquide par une très-légère contraction, et qu'alors l'insolubilité ne soit évidente : c'est ce que prouvent les faits suivants.

SÉPARATION DE L'IODURE D'AMIDON PAR L'ICHTHYOCOLLE.

L'ichthyocolle battue, détrempée, lavée à froid et délayée dans la solution d'iodure, entraîne ce composé bleu dans le réseau qu'elle déploie au milieu du liquide. On peut reconnaître à l'œil nu la séparation; on s'en assure par le filtre, qui retient toute la substance bleue.

PRÉCIPITATION ET CONTRACTION DE L'IODURE PAR LES ACIDES, LES SELS, ETC.

Tous les acides, les composés binaires neutres et les sels essayés, ont produit cet effet avec une énergie et des phénomènes variés.

Nous citerons, entre autres, les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique; les chlorures de calcium, de barium, de sodium; les sulfates de chaux, de fer, de cuivre, de potasse et d'alumine; le carbonate de soude, le chromate de potasse, l'oxalate et l'hydrochlorate d'ammoniaque. Ainsi les acides qui dissolvent l'amidon libre contractent l'amidon uni à l'iode : c'est une preuve de plus de l'attraction qui existe entre ces deux corps.

La forme des précipités, leur réunion plus ou moins rapide et complète, la proportion des agents employés pour manifester la séparation entre l'iodure et le liquide, ont varié suivant, 1° que l'amidon hydraté et dissous conservait encore plus ou moins de cohésion, qu'il était extrait de grosses fécules en flocons plus volumineux; ou, 2° au contraire, que mieux divisé, ou extrait de fécules plus jeunes, plus ténues, il éprouvait moins de contraction.

De très-minimes proportions de tous les agents solubles que nous venons d'indiquer peuvent déterminer à l'instant cette séparation tranchée.

Pour fixer les idées par des nombres, nous dirons, 1° qu'on l'obtient à l'aide d'une solution neutre de sulfate de chaux saturée (à 10° de température), étendue de seize fois son poids d'eau pure, versée dans un volume égal au sien du liquide bleu-foncé, que l'on prépare, en ajoutant à froid un léger excès d'iode à la dissolution filtrée d'une partie de fécule de pomme de terre dans 100 parties d'eau; 2° qu'une solution contenant 0,0001 de son poids de chlorure de calcium, mêlée à volume égal avec le même liquide bleu, provoque aussitôt la séparation d'un coagulum bleu; mais celui-ci, dans ces deux cas, occupe longtemps

presque tout le volume, ne laissant voir que par des intervalles minces et près de la superficie le liquide diaphane interposé.

L'amidon désagrégé par divers agents, dissous à chaud, refroidi et uni à l'iode, exige des proportions d'autant plus fortes des agents précités pour être contracté, que la désagrégation a été poussée plus loin.

Dans ces expériences et dans une foule d'autres qu'il serait trop long de rapporter ici, l'iodure d'amidon, lorsqu'il est précipité, a d'ailleurs conservé toutes ses propriétés et semble n'avoir éprouvé qu'un rapprochement entre ses parties.

En effet, la température nécessaire pour opérer la décoloration est d'autant plus élevée que l'iodure, sous l'influence des sels, a pris une forte cohésion, toutes choses égales d'ailleurs; cette circonstance aurait de même pour effet de retarder la dissolution de toute autre matière soluble seulement à chaud.

PRÉCIPITATION DE L'IODURE D'AMIDON PAR UN ABAISSEMENT DE TEMPÉRATURE.

Ce nouvel ordre d'investigations me parut propre à démontrer directement les caractères contractiles de l'amidon hydraté uni à l'iode.

Non-seulement j'obtins, après avoir congelé le liquide, la contraction et l'élimination complète du composé bleu, même dans un liquide qui en contenait moins que la millième partie de son poids, mais encore cet élégant phénomène se manifesta par un simple abaissement de la température à zéro, sans congélation; dans ce dernier cas, les flocons restaient quelquefois tellement volumineux dans trois ou quatre cents fois leur poids d'eau, qu'ils occupaient toute la hauteur du liquide. Or, bien qu'ils se trouvassent pendant plusieurs jours en contact par une énorme surface avec l'eau entre + 12 et 15°, la moindre trace n'en fut pas dissoute : un filtre les retint tous, et le liquide en sortit sans coloration bleue. Ainsi donc une contraction, imperceptible directement, opérée sans l'emploi d'aucun réactif pondérable, avait

suffi pour ôter à l'iodure d'amidon la propriété de se maintenir en dissolution dans l'eau.

Ces flocons contractés par ce simple refroidissement se comportent dans l'eau à la température de + 65 à 100°, comme s'ils eussent été coagulés par de minimes proportions de sels ou d'acides; ainsi ils se distendent et se décolorent d'autant plus difficilement, et exigent pour cela une température d'autant plus élevée qu'ils ont pris une plus forte cohésion; cependant cette nouvelle extension qui les rend incolores et dissolubles à chaud, laisse reprendre une coloration bleue générale au liquide refroidi; on peut encore les contracter et les séparer de l'eau par un nouvel abaissement de la température à 0°: leurs propriétés les plus fugaces ne sont donc pas sensiblement plus altérées, dans ce cas, que leur composition chimique.

Le phénomène de séparation par refroidissement de l'amidon étendu dans l'eau et bleui par un léger excès d'iode, varie lorsqu'une altération a eu lieu dans la solution aqueuse (avant l'addition de l'iode), soit par le temps, soit par une ébullition trop prolongée. Dans ce cas l'amidon se sépare incomplétement, et sa coloration par l'iode est différente: les parties altérées ou excessivement distendues résistent à la contraction; elles sont colorées en violet qu'un petit excès d'iode fait virer au rouge, tandis que, dans l'eau contenant seulement 0,0005 de son poids d'amidon dissous à l'aide d'une température de 70 à 100° ou d'une courte ébullition, l'excès d'iode produit une nuance verdâtre résultant du bleu d'amidon mêlée à la couleur jaune du réactif.

Les mêmes effets ont lieu par suite de broyages très-énergiques opérés sur l'amidon à froid, soit dans l'eau, soit à sec. Les mêmes différences de la contractilité, sous l'influence des acides, des sels, etc. ont lieu par suite de ces altérations. Après l'action des bases alcalines, les proportions précipitables par contraction sont d'autant plus faibles que la réaction dissolvante

a été plus énergique, bien qu'une belle coloration bleu-indigo ait persisté.

Après les réactions dissolvantes à froid et à chaud des acides forts et de la diastase, les proportions de la substance bleuie précipitable par contraction diminuent rapidement et d'autant que la nuance rougeâtre, signe certain d'une division plus avancée, prédomine davantage.

Toute précipitation par un effet de contractilité due au froid, aux acides et aux sels, cesse lorsque la substance amylacée est divisée au point de donner avec l'iode une nuance de violet rougeâtre, à plus forte raison lorsque, plus atténuée, elle donne une coloration sensiblement rouge.

En d'autre temps nous avons démontré l'extensibilité et la contractilité très-grandes de l'ichthyocolle réduite en gelée à froid, et la destruction de ces propriétés par une simple ébullition dans l'eau, qui n'avait pas altéré la composition chimique.

FORMATION DE L'IODURE D'AMIDON INVISIBLE DIRECTEMENT.

Dans toutes les circonstances où les particules du composé bleu ou violet sont le plus distendues, mieux dissoutes ou plus divisées, la coloration disparaît. Nous rapportons à cette cause :

1° Le phénomène de la décoloration et de la coloration alternatives de l'iodure par la chaleur, et nous allons en citer plusieurs autres exemples.

2° Lorsqu'on a transformé en dextrine et en sucre l'amidon par la diastase, on reconnaît, en versant quelques gouttes d'iode dans le liquide, que la transformation est plus ou moins complète. Cependant, lors même que l'iode ne produit pas ainsi dans les liquides étendus de coloration directe, souvent il arrive qu'après l'avoir fait rapprocher en sirop, même par une ébullition vive, l'iode donne alors une coloration violette ou vineuse que la plus grande distension de l'iodure rendait d'abord imperceptible.

3° Dans une dissolution filtrée d'amidon ainsi que dans l'amidon hydraté à 100° par cent fois son poids d'eau, puis incomplétement attaqué par la diastase, si l'on verse à froid une goutte de solution d'iode, une nuance foncée, bleue ou violette, se manifeste dans les points en contact; mais aussitôt que l'on agite, le composé coloré disparaît en se répartissant dans toute la masse ou en se dissolvant dans l'amidon libre.

4° On obtient le même effet en versant à froid un excès de solution d'amidon sur le liquide qu'on vient de colorer par l'iode; la même quantité d'eau ne détruit pas la couleur.

5° Lorsque, après avoir fait disparaître plusieurs fois la couleur par une température intermédiaire entre, 66° et 100, la diminution de l'iode a réduit la proportion du composé bleu au point qu'il soit invisible, on le fait reparaître en contractant ses parties par un acide.

6° Il en est de même de la plupart des cas ci-dessus. Ainsi donc le composé existait, mais ses particules, trop écartées, ne décomposaient plus la lumière.

COMPOSITION DE L'IODURE D'AMIDON.

L'analyse du composé bleu, publiée par M. Lassaigne, ayant été faite sur la partie la plus désagrégeable de l'amidon, m'étant d'ailleurs assuré qu'une plus forte désagrégation enlevait graduellement à l'amidon son pouvoir de combinaison avec l'iode, j'espérai obtenir un composé mieux défini, en saturant à froid, avec un excès de solution aqueuse d'iode, la fécule pure, hydratée (par cinquante fois son poids d'eau bouillante); mais, desséchée alors dans le vide sec à + 100°, l'iodure ne retint que 0,07 d'iode.

Afin de réunir des circonstances plus favorables, je crus devoir répéter l'essai sur de la fécule pure intacte. Je l'agitai à froid dans une solution aqueuse saturée d'iode, que la fécule décolora en lui enlevant tout l'iode et se colorant elle-même en

bleu intense. Je renouvelai la solution jusqu'à ce que sa coloration jaune persistât sans diminution sensible, alors l'iodure en grains opaques d'un bleu très-intense fut desséché dans le vide sec à + 12°; puis, soumis à une nouvelle dessiccation à 110° dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique concentré, il fut pesé en cet état; enfin, lavé avec une solution froide d'ammoniaque qui le décolora en enlevant l'iode, puis à l'eau distillée, et séché à 100°, il devint manifeste qu'il avait acquis d'abord, puis perdu ensuite 0,057 d'iode, ce qui était loin de correspondre à un équivalent.

Il était d'ailleurs possible que la combinaison n'eût pas atteint ses limites dans l'intérieur des grains de fécule : j'essayai de favoriser la réaction par une hydratation préalable à chaud, puis de rendre le composé bleu plus stable par l'addition d'un sel neutre : à cet effet, 5 décigrammes de fécule pure, séchée à 120° dans le vide, furent hydratés au bain-marie, à la température de + 80° dans 100 centimètres cubes d'eau, le liquide étant refroidi à + 50°. On y versa de la solution saturée d'iode, en excès, ce qu'annonçait la nuance bleue virant au vert.

On ajouta alors 1^{g},5 de chlorure de sodium dissous dans 10 grammes d'eau, et, ayant abaissé la température du mélange à + 8°, l'iodure bleu, précipité en flocons, se rassembla au fond du vase; le liquide surnageant était jaune et contenait évidemment un excès d'iode.

Décanté, filtré, rapproché, ce liquide donna quelques flocons impondérables d'iodure bleu sans autre résidu, tout l'iodure floconneux recueilli avec soin et pesé donna un poids net, en tenant compte du sel interposé, et après dessiccation à 100° dans le vide, de 538, ce qui représentait 38 d'augmentation de poids dû à l'iode, ou 7,10 pour 100, ou un peu moins d'un dixième d'équivalent.

SATURATION DE L'AMIDON EN GRAINS PAR LA VAPEUR D'IODE.

Un moyen analogue à celui qui procure un terme constant

d'hydratation me parut devoir être tenté pour saturer l'amidon en grains par l'iode. 968 milligrammes de fécule à 0,18 d'eau furent placés dans tube clos en présence de 4 grammes d'iode précipités par l'eau sur un filtre.

La fécule prit peu à peu et successivement, à partir des points rapprochés de l'iode, les nuances orangée jaune, violacée terne, violet rougeâtre, violet, indigo, indigo foncé presque noir.

Le filtre acquérait en même temps les colorations analogues suivantes, dues aux quantités accrues par degré, de l'iode distribué sur son tissu : jaune fauve, orangé, fauve violacé, violet rougeâtre, violet foncé.

La tension de la vapeur d'iode fut de temps à autre soutenue en maintenant la température dans la partie du tube correspondante au filtre de 25 à 50°.

Au bout de dix jours toutes les parties de l'amidon paraissant pénétrées au maximum par la vapeur d'iode condensée, on retira le filtre; l'iodure, après dessiccation dans le vide sec à + 15°, pesait 904 milligrammes d'après des expériences antérieures; il devait alors retenir 2 équivalents d'éau : en effet la dessiccation, poussée à ses limites par une température soutenue de 100 à 105° dans le vide, occasionna une perte d'eau égale à 78 milligrammes : il restait donc un poids d'iodure sec égal à 826, retranchant l'équivalent de la fécule employée ou 794, on avait 3,2 pour le poids de l'iode en combinaison, ce qui ne représente que 4 pour 100 d'iodure : ainsi la saturation était plus incomplète que par les autres procédés.

SATURATION DE L'AMIDON PAR L'IODE, DÉTERMINÉE SANS DESSICCATION.

Craignant encore qu'une cause d'erreur, dans les essais précédents, ne fût due à la volatilisation d'une partie de l'iode, j'imaginai un autre mode de vérification qui permît d'apprécier le pouvoir saturant de l'amidon, sans obliger à aucune évaporation; voici comment j'expérimentai :

Cinq décigrammes de fécule à 0,18 d'eau, représentant 41 centigrammes d'amidon à 1 équivalent d'eau, furent délayés dans 100 centimètres cubes d'eau ; le mélange fut chauffé à l'ébullition, puis refroidi ; on y versa 184,5 milligrammes d'iode dissous dans 14 centimètres cubes d'alcool ; le liquide, d'un bleu très-foncé, fut agité de temps à autre pendant une demi-heure ; alors on ajouta 2 grammes de sel marin en poudre, et, lorsqu'il fut dissous par l'agitation, on laissa déposer.

Il était d'avance évident que, la quantité d'iode employée étant proportionnée à un équivalent d'iode pour un d'amidon (:: 1579,5 : 2025), si la combinaison avait lieu dans ce rapport, il ne devait plus rester d'iode libre en solution, et après la précipitation le liquide surnageant eût été incolore ; mais loin de là, sa nuance annonça qu'il était saturé d'iode, dont il avait par conséquent retenu un grand excès.

Dans la prévoyance de ce résultat, j'avais disposé un mélange tout semblable, sauf l'amidon qui en avait été complétement exclu.

Dans ces deux liquides, une partie de l'iode s'étant précipitée, j'ajoutai peu à peu dans le premier assez d'eau alcoolisée pour tout redissoudre, et même un excès que l'affaiblissement de sa nuance annonça ; il en contenait alors 450. J'ajoutai ensuite assez d'eau dans le premier pour arriver enfin à une égale intensité de nuance ; il en fallut en totalité 500 centimètres cubes ; ainsi donc l'iode absorbé par la fécule était représenté par un dixième seulement de la quantité qui eût représenté un équivalent, et c'était là un maximum, puisque l'amidon restait en présence d'un excès d'iode dont l'évaporation était rendue impossible.

Il paraissait donc bien évident que la faculté de combinaison de la fécule pour l'iode dépendait de la cohésion acquise entre ses parties, et que ce pouvoir ne pouvait atteindre à la limite correspondante à un équivalent d'iode (2025 : 1579, 5).

Cependant une expérience de M. Lassaigne avait approché de ce résultat, que j'avais obtenu ensuite moi-même en la répétant

dans des circonstances analogues, c'est-à-dire en versant un grand excès de solution alcoolique d'iode sur de l'amidon hydraté ou dissous et séchant à froid. J'ai trouvé l'explication de cette anomalie apparente en découvrant dans l'iodure ainsi préparé des cristaux d'iode.

On observe facilement ces cristaux sous le microscope en mélangeant une goutte de solution aqueuse d'amidon avec une goutte de solution alcoolique d'iode saturée sur le porte-objet: on voit aussitôt une belle cristallisation de longs prismes quadrangulaires opaques, souvent opposés bout à bout, étincelant comme des lames d'acier poli; les plus longs ont 25 centièmes de millimètre, et seulement 1 centième de millimètre de largeur; ils sont terminés tantôt en pointe acérée, tantôt par des pyramides à quatre faces; quelquefois plus courts, ils représentent une projection rhomboïdale.

L'impossibilité d'unir l'iode à l'amidon dans les rapports des poids équivalents me détermina à entreprendre une nouvelle série d'expériences, dans la vue d'apprécier, soit la force de combinaison, soit ses différences dans les réactions entre l'amidon en grains intacts et l'iode: voici les principaux résultats de ces investigations.

ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LES GRAINS D'AMIDON HYDRATÉS ET UNIS AVEC L'IODE.

La fécule pure, tenue pendant huit jours dans une solution aqueuse, saturée d'iode que l'on renouvela huit fois, fut desséchée dans l'air à + 16° de température, l'hygromètre marquant de 50 à 55°; pesée en cet état, puis séchée 12 heures à 15° dans le vide, elle perdit 22^m sur 295 ou 6,8 pour cent, ce qui équivaudrait à 2 équivalents d'eau, en supposant engagée dans cette combinaison la proportion d'iode observée (7, 1 pour 100).

Il résulte de là que l'amidon combiné avec l'iode retient sensiblement dans le vide + 15°, autant d'eau que l'amidon libre

dans les mêmes circonstances, ce qui est d'accord avec les observations précédentes et celles qui suivent.

En continuant de chauffer dans le vide pendant dix heures, à la température de 105°, il se dégagea 23 milligrammes d'eau, ce qui correspond encore à 2 atomes; les dernières traces furent très-difficiles à enlever.

RÉSISTANCE REMARQUABLE ACQUISE PAR L'AMIDON EN GRAINS SOUS L'INFLUENCE DE L'IODE.

Si l'on opère la dessiccation lentement dans le vide à 220°, qu'on soutient 40 minutes, il se dégage d'abord de l'iode, puis le dégagement cesse ; après le refroidissement dans le vide la matière est encore d'une nuance très-foncée; si l'on ajoute un peu d'eau, puis qu'on dessèche à 220°, un nouveau dégagement d'iode a lieu, mais la nuance est très-foncée encore ; l'iodure épuisé par l'eau ne cède que 0,02 environ de substance soluble, qui se colore en violet par l'iode.

Ainsi une très-forte proportion de l'amidon est préservée par l'iode de la désagrégation, que cette haute température eût complétement opérée.

Au contraire, la combinaison acquiert une cohésion et une résistance très-remarquables aux agents de dissolution.

La plupart des grains restent d'un bleu opaque presque noir; ceux-ci résistent aux alcalis et aux acides concentrés à froid, et ne s'attaquent que lentement à chaud par l'acide sulfurique concentré, qui alors dégage de l'acide sulfureux.

Les grains qui, plus faiblement agrégés, avaient perdu la plus grande partie de l'iode, se montraient d'une couleur jaune foncé, translucides sous le microscope, insolubles dans l'eau, fragiles, à cassures anguleuses vitriformes.

L'acide sulfurique concentré les attaquait lentement à froid et les désagrégeait par degrés.

Une stabilité aussi grande, donnée à l'amidon par l'iode,

offre une preuve de plus d'une combinaison réelle entre ces deux corps[1].

Voici un autre exemple de la résistance acquise par l'amidon sous l'influence de l'iode : si l'on soumet à l'ébullition un mélange d'eau 100, fécule 2, acide sulfurique 1, pendant une demi-heure, le liquide refroidi ne donnera plus aucune coloration par l'iode, il ne contiendra que de la dextrine et du *sucre;* mais si, dans un semblable mélange on a préalablement ajouté un excès d'iode on pourra chauffer ensuite pendant une demi-heure à 100° sans faire perdre à l'amidon la propriété de bleuir et même de se précipiter par l'iode.

LIQUÉFACTION DE L'IODURE D'AMIDON HYDRATÉ.

Afin de vérifier si l'influence très-grande de l'eau d'hydration sur la désagrégation de la fécule contrebalancerait la tendance de l'iode à maintenir plus stables les parties de l'amidon en grains, je plongeai dans un bain d'huile chauffé à 162° de l'iodure saturé d'iode en grains pulvérulents, à 2 équivalents d'eau, placés dans un tube clos. Au bout de 30 minutes, cet iodure fut intégralement fondu ; refroidi, il se présentait en masse vitriforme diaphane, jaune fauve, inattaquable par l'eau, soluble dans l'acide sulfurique froid, précipitable par l'eau en flocons bruns.

DÉSAGRÉGATION, PAR LA CHALEUR, DE L'IODURE EN GRAINS DEMI-SATURÉ D'IODE, MAIS HYDRATÉ.

Voulant accroître l'influence de l'eau en diminuant celle de l'iode, je soumis brusquement dans un tube ouvert, à 162° de

[1] En commençant cette étude, j'ai observé non-seulement le produit insoluble inattaquable à froid par les acides et les bases énergiques, mais en variant la durée de l'opération, la température et la proportion d'eau, j'ai obtenu une substance soluble à froid, une autre insoluble, mais se pouvant dissoudre après avoir été exposée humide à l'air, précipitant alors par l'acide chlorydrique en flocons bruns.

température, de la fécule unie seulement à 0,04 d'iode et contenant 4 équivalents d'eau : après une demi-heure de réaction, les grains, primitivement d'un violet foncé étaient de couleur fauve, diaphanes, cassant comme de petits granules de gomme, très-dissolubles à l'eau ; leur solution développait par l'iode une coloration d'un violet rougeâtre ; ainsi la présence de l'eau avait surmonté l'action constrictive de l'iode.

INERTIE DE LA SOLUTION ALCOOLIQUE D'IODE SUR L'AMIDON SEC, ET DÉCOMPOSITION DE L'IODURE D'AMIDON PAR L'ALCOOL ANHYDRE.

Les deux expériences suivantes montrent que l'action entre l'alcool et l'iode est plus énergique que la combinaison entre l'iode et l'amidon sec : que l'on agite en vase clos, à froid, une solution d'iode dans l'alcool anhydre avec de l'amidon séché au maximum (de 100 à 130° dans le vide : $= H^2 O$, $C^{24} H^{18} O^9$), il ne s'opérera immédiatement aucune combinaison, l'amidon restera blanc et la solution alcoolique conservera sa couleur sans déperdition aucune ; si alors on ajoute quelques gouttes d'eau au mélange, la combinaison aura lieu sur-le-champ et les grains d'amidon deviendront aussitôt d'un violet de plus en plus foncé.

Réciproquement, si l'on agite de la fécule bleuie par un excès d'iode, dans vingt fois son poids d'alcool anhydre, et qu'on renouvelle plusieurs fois celui-ci, les grains d'amidon perdront chaque fois une nouvelle quantité d'iode, mais très-lentement ; au bout de dix jours, après avoir renouvelé huit fois l'alcool, la coloration, de plus en plus affaiblie, aura viré au violet rougeâtre, et plus des 0, 8 de l'iode auront été séparés de la fécule.

Si l'on agit à la température de l'ébullition de l'alcool, aucun des grains n'est déformé, la décoloration est plus rapide, et, dans tous les cas, on observe sous le microscope une décoloration beaucoup plus avancée sur les plus jeunes grains, qui sont devenus diaphanes et rosâtres.

DIMINUTION DE LA COULEUR DE L'IODURE D'AMIDON PAR UN PHÉNOMÈNE DE TRANSPARENCE SANS RÉACTION CHIMIQUE.

Les nombreuses observations qui précèdent concourent à prouver que la coloration de la substance amylacée par l'iode dépend de l'arrangement organique des particules entre lesquelles l'iode modifie la lumière, puisqu'on peut, en altérant ces dispositions, changer ou détruire les effets de coloration.

Il était donc permis de supposer qu'en rendant ce passage plus libre aux rayons lumineux, à l'aide d'un corps inerte interposé, on affaiblirait les phénomènes de coloration.

On réalise cette déduction par les expériences suivantes :

Après avoir privé l'iodure d'amidon de 0,03 d'iode par un lavage à chaud dans l'alcool anhydre, on l'a séché à l'air et placé sous le microscope, tous ses grains parurent violets demi-transparents ou opaques. En ajoutant entre les lames du porte-objet une goutte d'huile de moelle, récente, incolore et pure, on vit une décoloration marquée s'effectuer au fur et à mesure de la pénétration de l'huile, de la périphérie au centre.

Cet effet est plus prompt sur les plus jeunes grains (qui ne sont pas toujours les plus petits, mais ceux dans lesquels toutes les observations annoncent une agrégation plus faible); au bout de quelques heures, plusieurs d'entre eux montrent en projection un disque central violet ou rougeâtre, entouré d'un cercle diaphane sans couleur; on pourrait prendre ces grains de fécule pour des globules de sang, si leur noyau n'offrait des bords irréguliers ou nuageux, et s'ils ne laissaient discerner leur hile.

Ce curieux phénomène s'opère plus rapidement lorsque l'on accélère la pénétration de l'huile par une dessiccation préalable de l'iodure à +80°; alors, au bout d'une heure, plusieurs des plus jeunes grains sont presque entièrement décolorés; d'autres à peine rosâtres, le plus grand nombre demi-translucides auprès du centre, diaphanes ou sans couleur sur les bords de leur pro-

jection ; quelques uns des plus vieux, restés violets opaques, ne sont pas décolorés dans une profondeur appréciable.

Ainsi donc, ici encore une diaphanéité graduellement acquise, produisant les effets d'une division à divers degrés, donnait lieu à toutes dégradations de nuances dont tant de réactions m'avaient permis d'apprécier la principale cause; toutefois on pouvait ici supposer, soit une altération spéciale qui eût détruit la combinaison, soit une dissolution par l'huile qui eût entraîné l'iode; j'essayai de lever d'avance ces objections en faisant reparaître l'iodure avec tous ses caractères : j'y parvins en faisant d'abord imbiber dans du papier l'huile interposée : puis extrayant, à l'aide de l'éther, celle qui avait pénétré à l'intérieur des grains, alors la couleur de l'iodure reparut avec son intensité première dans les grains qui avaient paru décolorés.

EXFOLIATION À FROID DE L'AMIDON TEINT PAR L'IODE.

Après avoir desséché l'iodure d'amidon par une température soutenue de 100° dans le vide, si on le laisse refroidir, on pourra s'assurer, en l'observant au microscope dans l'alcool anhydre, que ses grains violets, opaques, sont intacts; mais alors, si l'on y ajoute de l'eau froide, soit pendant qu'il est encore mouillé d'alcool, soit à nu, on verra aussitôt un grand nombre de grains se rompre, s'exfolier, une partie même de leur substance se désagrégera dans le liquide et prendra des nuances violettes, rougeâtres, tandis que les couches exfoliées, en s'hydratant, acquerront des nuances très-rapprochées du bleu. Ce joli phénomène, si facile à reproduire, prouve l'énergie de l'attraction de l'iodure d'amidon pour l'eau.

Toutes les expériences qui précèdent ayant mis en évidence l'attraction énergique de l'iode pour l'amidon hydraté, je voulus vérifier, par une saturation directe, les proportions maximes d'iode engagées dans cette sorte d'action.

756 milligrammes de fécule à 2 équivalents d'eau furent

hydratés dans 300 grammes d'eau à 100° pendant une heure; le liquide refroidi reçut 58, 5 milligrammes d'iode, dissous dans 8 centimètres cubes d'alcool. Le contact ayant duré douze heures, on opéra la séparation à l'aide de trois grammes de chlorure de sodium, et l'on vit peu à peu, au bout d'une heure, les flocons bleus se précipiter en se contractant, surnagés par un liquide teint en jaune verdâtre; il fallut ajouter 84 milligrammes de fécule, hydratée à 100° dans 20 centimètres cubes d'eau, pour que la solution surnageante devînt sensiblement incolore.

Ainsi donc, le maximum d'iode fixé par l'amidon est d'un équivalent du premier pour dix équivalents du second; car,

$$756 + 84 = 840 : 58,5 :: 2250 : 155,9.$$

L'importance attachée avec raison par les chimistes, les physiologistes et les organographes, au caractère de la coloration de l'amidon par l'iode, me détermine à résumer ici les déductions définitives sur la nature de ce composé.

CONCLUSIONS SUR LA NATURE DE L'IODURE D'AMIDON.

L'art de la teinture consiste, suivant M. Chevreul, à fixer sur les étoffes, au moyen de l'attraction moléculaire, des substances qui agissent sur la lumière autrement que ne le fait la surface des étoffes.

L'action de l'iode sur l'amidon peut être nettement définie de la même manière; c'est la résultante de l'attraction d'un groupe de particules amylacées sur une particule d'iode et non une combinaison d'atome à atome.

Un équivalent d'iode suffit pour teindre dix équivalents d'amidon; les poids sont entre eux comme 7, 18 : 92, et les volumes comme 1 : 42, 53 [1].

[1] On conçoit que ces rapports observés sur la grosse fécule de pommes de terre, hydratée par six cents fois environ son poids d'eau à 100°, doivent varier suivant l'état d'agrégation des particules qui change avec l'âge des tubercules, avec la nature, l'état de végétation et l'âge de tous les tissus qui contiennent l'amidon.

La réaction intime est prouvée par les propriétés nouvelles du composé et notamment par une résistance telle à l'élévation de la température, que la substance organique peut être soustraite à la désagrégation, perdre avec l'iode son eau de composition et se réduire presque en charbon sans changer de formes.

La stabilité de l'iodure bleu étendu dans l'eau froide, et sa grande contractilité sous diverses influences, prouvent encore une attraction énergique entre ses composants.

Les nuances les plus rapprochées du bleu sont fixées sur la substance amylacée, distendue dans l'eau, mais non désagrégée, comme elle le serait par la diastase ou les acides forts.

Dans les grains d'amidon intacts, l'iode en vapeur ne peut pénétrer en proportions suffisantes pour produire la coloration bleue, bien que la nuance violette soit intense au point de paraître noire.

Cette coloration se dégrade par les agents qui enlèvent l'iode (l'alcool par exemple); elle est affaiblie par les corps qui aident le passage de la lumière (comme l'huile).

Tous les moyens d'atténuer les groupes des particules amylacées diminuent la force d'attraction de ces groupes pour l'iode; alors aussi on ne peut obtenir que des nuances violettes. Il en est de même relativement à l'amidon en grains hydratés, lorsque l'alcool intervenant diminue, par son affinité pour l'iode, les proportions de ce réactif fixées [1].

Lorsque enfin les groupes des particules organiques disparaissent sous une division telle que toutes les propriétés contractiles sont évanouies, la faculté de *fixer l'iode* ou de *se teindre* disparaît aussi; en un mot, l'amidon est changé en dextrine.

[1] D'un côté, les modifications de la couleur bleue, lorsqu'elle vire aux nuances violettes par l'atténuation des particules combinées, d'une autre part, la coloration bleue propre à la substance qui, étant moins désagrégée, est douée d'une plus forte attraction pour l'iode, peuvent se comprendre, en les comparant aux deux ordres de phénomènes qui suivent:

1° Beaucoup de substances qui réfléchissent le bleu, telles que l'indigo et le bleu de Prusse, se nuancent de violet, de rouge et d'orangé, lorsqu'ils sont très-divisés ou polis;

2° Sur une superficie violette, la fixation d'une matière jaune peut produire le bleu.

L'iode est un réactif insuffisant pour prouver la présence, l'absence ou les proportions de la substance amylacée; car, 1° des colorations violettes, analogues à celles de l'iodure d'amidon, peuvent être communiquées au papier par l'iode; 2° l'amidon, faiblement agrégé ou désagrégé, ne donne ni couleur, ni composé stable avec l'iode; et 3° la présence de l'alcool fait virer au violet de plus en plus rougeâtre les nuances de l'iodure d'amidon en grains.

ACTION DU CHLORE ET DU CHLORURE DE CHAUX SUR L'AMIDON.

Aucune des nombreuses réactions que j'ai étudiées ne démontre d'une manière plus élégante la structure des grains d'amidon et les différences d'agrégation dans chacune des couches concentriquement emboîtées.

Nous avons vu que l'iode exerce sur l'amidon une action tantôt constrictive, tantôt divellante; il y a tendance à la combinaison ou à la désagrégation, suivant qu'on opère à froid ou à chaud, suivant qu'on élimine l'eau avant d'élever la température et à mesure que celle-ci s'élève, ou bien qu'au contraire on fait simultanément agir l'eau, l'iode et la température; il doit donc se produire, surtout à chaud, des résultats complexes et des combinaisons nouvelles dignes d'être étudiées.

L'action du chlore, bien plus énergique, semble être toute de décomposition; en effet, une solution neutre de chlorure de chaux, même à froid, attaque l'amidon: l'action très-prolongée transforme la substance en acide carbonique et en eau; il se forme du chlorure du calcium, l'excès de chlorure de chaux, attaqué par l'acide carbonique, donne lieu à du carbonate de chaux qui se dépose, et à du chlore qui se dégage et dont une partie prend part à la réaction sur la substance organique.

La réaction que nous venons de décrire consiste en une véritable combustion au milieu du liquide; si l'on opère à 70°, elle devient si vive qu'elle occasionne une forte effervescence qui

continue sans chauffer, et dégage un grand excès d'acide carbonique facile à recueillir [1].

Si l'on agit à froid, la solution de chlorure s'affaiblit et agit plus lentement : au bout de plusieurs mois une grande partie des grains de fécule, vus sous le microscope, paraissent entiers et laissent apercevoir toutes leurs couches concentriques ; ils n'ont perdu en effet que les parties le plus faiblement agrégées de chacune des couches, en sorte que, lavés et imprégnés d'iode, on voit qu'ils ont été attaqués inégalement [2]. Parmi les plus gros, quelques-uns prennent encore une teinte violette si foncée qu'ils sont opaques; les plus petits, et sans doute les plus jeunes, n'acquièrent que des teintes faibles violettes, rougeâtres ou fauves; un assez grand nombre restent presque incolores, bien qu'ils laissent encore voir des pellicules concentriques, que leur cohésion a préservées comme la pellicule externe.

Pour le démontrer, il faut, en diminuant cette cohésion, leur rendre la propriété de bleuir par l'iode.

On y parvient à l'aide d'une des plus simples et des plus jolies observations microscopiques : maintenus, saturés d'iode sur le porte-objet, on introduit, entre les deux lames de verre, une goutte d'acide sulfurique étendu de son volume d'eau : chacun des grains d'amidon qu'il touche se gonfle aussitôt un peu dans toutes ses parties, et, lorsque la désagrégation est convenablement modérée, on voit chaque couche concentrique devenir d'un beau bleu, et souvent plusieurs d'entre elles s'exfolier en tuniques légères et ondulées.

On compte souvent 10 à 15 de ces tuniques emboîtées, dont l'épaisseur varie de 0,5 à 0,1 de millième de millimètre.

La première enveloppe externe se conduit encore ici comme

[1] Ayant découvert l'identité de composition chimique entre les membranes des végétaux et l'amidon, je fus conduit à essayer sur elles la réaction du chlore et du chlorure de chaux, qui tous deux produisirent une combustion rapide, au bain-marie.

[2] Ici encore la partie désagrégée se résout en dextrine, et tous les degrés de dégradation du violet au rouge, sous l'influence de l'iode, montrent dans la solution ces produits de la désagrégation qui précèdent la dissolution complète et la combustion.

les tuniques de l'intérieur; c'est donc une démonstration nouvelle et des plus élégantes, de cette structure remarquable.

PHÉNOMÈNES DUS À LA CONTRACTILITÉ DE L'AMIDON SOUS L'INFLUENCE DE LA BARYTE, DE L'OXIDE DE PLOMB ET DE L'HYDRATE DE CHAUX.

La solution de baryte contracte très-fortement la fécule lorsque celle-ci est prodigieusement gonflée par l'eau bouillante et refroidie.

Si l'on verse une solution de baryte dans un empois même très-léger, celui-ci offre aussitôt deux parties distinctes: l'une, très-liquide; l'autre, ayant acquis par la séparation de l'eau une forte cohésion, présente une masse dure, élastique, très-difficilement perméable.

Lors même que l'amidon est beaucoup plus dilaté encore et séparé des parties les plus agrégées à l'aide de la filtration, il éprouve, par la solution de baryte une contraction telle, qu'il est précipité à l'instant, et ses flocons agglutinés s'attachent aux parois du vase.

Mais dès que la combinaison, graduellement complétée avec la baryte, a détruit la forme spongieuse contractée de l'amidon, la dissolution entière s'effectue dans la même quantité d'eau au milieu de laquelle la précipitation avait eu lieu.

Ce phénomène de précipitation est fort remarquable, car il est dû à une réaction dont le produit est une combinaison soluble.

Aucun autre, en effet, ne manifeste mieux la disposition organique des particules; on conçoit que celles-ci, n'étant disséminées que par groupes, puissent se rapprocher sur plusieurs centres d'action où la combinaison s'opère, sans trouver autour d'elles assez d'eau pour se dissoudre, tandis qu'il s'en trouve dans la masse liquide un excès qui se décèle bientôt par la dissolution totale.

Nous verrons plus loin comment on peut déterminer le poids

équivalent de la matière organique engagée dans cette combinaison.

Le sous-acétate de plomb donne avec l'amidon rapidement hydraté, dissous et filtré, un précipité insoluble, même dans un excès d'eau, tandis qu'il ne précipite pas directement l'amidon désagrégé parvenu à l'état de dextrine; toutefois la même combinaison, opérée à l'aide d'un agent auxiliaire, nous servira pour trouver la capacité de saturation de la substance amylacée dans ces deux états.

L'eau de chaux précipite aussi l'amidon en flocons variables, suivant l'état de division de cette substance, signalant encore les mêmes disposition organiques et leurs altérations dans la substance amylacée.

Les solutions de sulfate de cuivre, de persulfate de fer, de chlorure de barium et de divers sels, ne précipitent pas l'amidon plus ou moins désagrégé, dissous à chaud, refroidi et rendu limpide par la filtration.

Le sel marin produit cependant un effet évident de contraction sur l'amidon hydraté; voici comment on s'en assure.

Ayant préparé dans un tube et au bain-marie un empois léger avec 1 gramme de fécule sèche et 25 centimètres cubes d'eau, chauffés en les agitant jusqu'à 95°, puis refroidis, on pose sur la superficie de la substance amylacée 4 ou 5 grammes de sel marin en cristaux menus; au bout de 24 heures on voit distinctement un liquide diaphane, extrait par le sel, s'interposer entre ses cristaux, et chaque jour former une solution plus abondante et limpide qui surnage : un excès d'iode y accuse la présence de l'amidon dissous, en produisant une combinaison bleue dont les flocons se contractent bientôt et se précipitent lentement.

ÉPURATION DE LA FÉCULE DES POMMES DE TERRE ET EXTRACTION DIRECTE DE L'HUILE ESSENTIELLE.

On débarrasse l'amidon de corps étrangers par une lévigation

qui laisse le sable, puis par des lavavages avec l'eau, l'alcool, l'acide acétique et l'ammoniaque, en ayant le soin d'éliminer par l'eau chacun des réactifs avant d'en employer un autre [1].

Pour bien comprendre l'utilité des lavages successifs et jusqu'à épuisement complet par ces agents, il faut se rappeler que la fécule formée par intus-susception de la substance amylacée, retient, interposées dans ses couches concentriques ou adhérentes à sa superficie, des traces de tous les corps que l'on trouve dans le suc des pommes de terre : ce sont notamment trois matières azotées, dont une soluble dans l'eau et l'alcool, une autre analogue à l'albumine, et une troisième semblable au caseum; deux principes colorants, dont l'un se développe sous l'influence de l'ammoniaque, lors même que tous les autres réactifs ci-dessus ont cessé d'agir, et font prendre à l'eau de lavage une nuance jaune fauve prononcée, une substance amère, une résine, de l'huile essentielle à odeur spéciale caractéristique de cette fécule, des matières grasses dont une est cristallisable, de la cire, quelquefois de l'asparagine, de la solanine et de la chlorophylle, des phosphates et citrates de potasse et de chaux, parfois du sulfate de chaux et de la silice.

On peut obtenir directement près de 2 grammes de l'huile essentielle brute en traitant 5 kil. de fécule répartis dans 10 flacons par 10 litres d'alcool le plus pur possible; on fait passer successivement le même alcool dans chacun des 10 flacons, on agite fortement à chaque transvasement, on laisse déposer et l'on observe une teinte jaunâtre graduellement plus foncée dans le liquide : lorsque celui-ci est arrivé dans le dixième vase et s'y est éclairci par le repos on le décante, on le passe sur un double filtre, puis on le distille au bain-marie.

L'alcool recueilli sert à de nouveaux lavages dans lequels ils se charge encore graduellement en épurant de plus en plus la fécule.

[1] On pourrait remplacer l'acide acétique par l'acide chlorhydrique étendu de 500 volumes d'eau, et l'ammoniaque par de la soude ou de la potasse étendues de 2000 parties d'eau, mais l'épuration serait moins facile.

Après six ou huit séries de ces lavages et distillations, la fécule du premier flacon, qui a toujours reçu l'alcool le plus pur, offre plusieurs indices d'épuration; ses grains, plus adhérents entre eux, restent en une masse au fond du vase lorsqu'on décante; elle est plus blanche et ne retient plus sensiblement l'odeur de fécule lorsqu'on l'a débarassée par l'eau de l'alcool interposé.

Les résidus de toutes les distillations évaporés laissent une huile jaune fauve, en partie soluble dans l'eau, à laquelle elle communique l'odeur particulière à la fécule; cette huile dépose une substance cristalline, blanche, soluble dans l'alcool; elle donne, par la distillation sur l'eau, l'huile essentielle de pommes de terre, épurée.

C'est surtout la fécule du premier flacon dont il convient d'achever l'épuration à l'aide de l'eau, de l'acide acétique et de l'ammoniaque, qui tous enlèvent des corps étrangers.

RÉACTION DES ACIDES SUR L'AMIDON.

Les résultats connus de la réaction des acides sur l'amidon se trouvent, d'ailleurs, très-bien décrits chez les auteurs mentionnés dans notre abrégé historique, nous croyons donc devoir nous dispenser de les rappeler ici.

Nous ajouterons toutefois que le premier effet des acides sulfurique, chlorhydrique, azotique, tartrique, ne se borne pas, comme on l'avait généralement supposé, à rompre une enveloppe et à mettre en liberté une substance gommeuse interne; mais qu'il consiste à désagréger toute la substance amylacée et à lui faire perdre en la dissolvant les caractères dus à la structure spéciale que nous avons fait connaître;

Que, l'acide acétique n'opérant pas un effet semblable, on peut tirer de cette différence un parti important pour la science et les applications que nous indiquerons plus loin.

Parmi les réactions ultérieures des acides forts, l'une des plus

intéressantes et des mieux connues, est celle de l'acide sulfurique, à l'aide duquel l'eau change l'amidon et la dextrine en une substance analogue à celle dite sucre de raisin, de diabète, et au sucre que produit l'action de la diastase.

Nous avons vu plus haut que ces réactions sont énergiquement entravées par la présence de l'iode.

XYLOÏDINE.

Au nombre des réactions les plus curieuses entre les acides et la substance amylacée, il faut ranger celle que l'acide azotique exerce en s'y combinant.

Nous ne voulons pas ici parler de la transformation importante, mais depuis long-temps connue, de l'amidon en acide oxalique; nous décrirons seulement des combinaisons nouvellement constatées, dont une se réalise tout en conservant en grande partie une résistance et une insolubilité anologues à celles de la matière organique. Les notions suivantes, qui s'y rapportent, sont extraites d'une communication faite par M. Pelouze à l'Académie des sciences.

Il y a quelques années M. Braconnot observa que l'acide nitrique concentré convertit l'amidon, le ligneux et quelques autres substances en une matière nouvelle qu'il nomma xyloïdine.

La composition de cette substance, les circonstances qui accompagnent sa formation, n'ont pas été examinées; ses propriétés principales étaient incomplétement déterminées ou inconnues: ma note, dit M. Pelouze, sans combler cette lacune, fera mieux connaître la xyloïdine.

Si l'on fait un mélange d'amidon avec l'acide nitrique, ayant une densité de 1, 5, au bout de quelques minutes la disparition de l'amidon est complète, la liqueur conserve la teinte jaune de l'acide nitrique concentré, et aucun gaz ne se dégage; traitée immédiatement par l'eau, elle laisse précipiter la xyloïdine

tout entière, et la liqueur filtrée donne par l'évaporation à peine un résidu sensible.

Si au lieu d'opérer la précipitation par l'eau aussitôt après la dissolution de l'amidon, on abandonne la liqueur à elle-même dans un vase fermé, elle se colore peu à peu et affecte les teintes diverses d'un mélange d'acide nitrique et de deutoxide d'azote.

L'eau y forme un précipité de xyloïdine, dont la quantité diminue de plus en plus avec le temps; au bout de deux jours et quelquefois même de plusieurs heures elle cesse entièrement de se troubler. La xyloïdine a été détruite et transformée complétement en un nouvel acide que l'évaporation présente sous la forme d'une masse blanche solide, incristallisable, déliquescente, dont le poids et beaucoup plus considérable que celui de l'amidon soumis à l'expérience. Du reste, il ne se produit ni acide carbonique, ni acide oxalique pendant cette réaction.

La xyloïdine, premier produit de l'acide nitrique sur l'amidon, résulte de l'union, équivalent à équivalent, de ces deux corps.

Lorsqu'au lieu d'abandonner à la température ordinaire un mélange d'amidon et d'acide azotique concentré, on le porte à l'ébullition: l'amidon, décomposé en quelques minutes, produit le nouvel acide déliquescent qu'on obtient alors facilement pur et en très-grande quantité par une évaporation au bain-marie.

Cet acide ne contient pas d'azote; il a quelques rapports avec l'acide oxalhydrique (acide-nitro-saccharique), mais il en diffère par sa composition. Une chaleur modérée le convertit en un autre acide de couleur noire, soluble dans l'eau, et susceptible de régénérer, sous l'influence de l'acide azotique, l'acide blanc dont il dérive.

L'acide azotique concentré, bouillant, l'attaque avec la plus grande difficulté; à froid, il le change lentement en acide oxalique sans qu'il y ait production d'acide carbonique.

Ainsi par une oxydation lente, que détermine la présence d'une

quantité convenable d'acide azotique concentré, l'amidon se convertit successivement en xyloïdine, en acide déliquescent et en acide oxalique, sans que le carbone participe au déplacement des autres éléments de ces matières. Ces réactions curieuses s'effectuent d'elles-mêmes à froid dans des vases fermés.

La xyloïdine est combustible dans l'air à la température de 180° centésimaux; elle prend feu, brûle presque sans résidu et avec beaucoup de vivacité. Cette propriété conduisit l'auteur à une expérience susceptible de plusieurs applications, particulièrement dans l'artillerie [1].

En plongeant du papier dans de l'acide azotique à 1, 5 de densité, l'y laissant le temps nécessaire pour qu'il en soit pénétré, ce qui a lieu en général au bout de deux ou trois minutes, puis l'en retirant pour le laver à grande eau, on obtient une espèce de parchemin impénétrable à l'humidité et d'une extrême combustibilité. Le même effet a lieu sur les tissus de chanvre, de lin et de coton.

Le papier ou les tissus qui ont ainsi subi l'action de l'acide azotique doivent leurs propriétés nouvelles à la xyloïdine qui recouvre leurs fibrilles.

On voit que, dans le composé remarquable caractérisé par les recherches de M. Pelouze, l'amidon perd un équivalent d'eau qui est remplacé par un équivalent d'acide azotique, et joue le rôle de base; tandis que le même principe immédiat, en se combinant avec l'oxyde de plomb et perdant ainsi un équivalent d'eau, remplit le rôle d'un acide.

RÉACTION DE LA DIASTASE SUR L'AMIDON.

Parmi un si grand nombre de réactions susceptibles de bien caractériser l'amidon et de démontrer sa présence et ses propor-

[1] Il nous semble que dans la préparation des feux des mines et des pièces d'artifice, les papiers et cartonnages, rendus ainsi imperméables et très-combustibles, auraient une utilité réelle.

tions, aucune n'est aussi remarquable, aussi spéciale que celle de la diastase qui me reste à décrire.

Cette substance constitue un principe actif, créé pendant la germination, et qui n'avait pas d'analogue dans la science, lorsque M. Persoz et moi nous sommes parvenus à l'isoler.

Solide, blanche, amorphe, insoluble dans l'alcool pur, soluble dans l'eau et l'alcool faible, sa solution aqueuse est neutre et sans saveur marquée; elle n'est point précipitée par le sous-acétate de plomb; abandonnée à elle-même, elle s'altère plus ou moins vite, suivant la température atmosphérique, devient acide et perd son énergique action sur la fécule; assez sèche pour être pulvérulente, elle se conserve longtemps; toutefois, au bout de deux ans, elle peut avoir perdu sa propriété principale.

La diastase est bien caractérisée, soit par son inertie complète sur les teintures végétales sensibles aux acides et aux alcalis, sur l'albumine, le gluten, l'inuline, le sucre de canne, la gomme arabique, le ligneux[1].

Caractérisée surtout par sa puissante action sur la fécule hydratée, qu'elle peut dissoudre et isoler ainsi de la plupart des principes immédiats ci-dessus énumérés, ainsi que de tous les corps insolubles auxquels elle serait mêlée, elle peut aussi éliminer de cette manière les corps étrangers adhérents à l'amidon, que l'on croyait faire partie d'une enveloppe spéciale, mais qui, nettement chassés ainsi, ne bleuissent même plus par l'iode; elle agit sur l'amidon hydraté à chaud, d'abord en séparant ses groupes moléculaires, au point de détruire à l'instant tous les caractères de son agrégation spéciale.

[1] La diastase détermine la dissolution et la conversion en sucre d'une proportion de fécule soixante fois plus considérable que celle opérée dans le même temps par l'acide sulfurique, tandis que, d'une autre part, ce dernier corps transforme complétement en sucre analogue à celui du raisin les quatre substances précédentes, sur lesquelles la diastase est sans influence; enfin la présence des carbonates de soude, de potasse ou de chaux, en faibles proportions, mais donnant au liquide les caractères marqués de l'alcalinité (ce qui paralyserait l'action de l'acide) n'empêche pas la diastase de réagir.

Cette singulière propriété de séparation justifie bien le nom de diastase donné à la substance qui la possède, et qui explique précisément ce fait.

Dans le traitement de la fécule par la diastase, l'opération, convenablement suivie, donne la dextrine plus blanche et plus pure qu'elle n'avait encore été préparée; aussi y retrouve-t-on éminemment le grand pouvoir de rotation sur la lumière polarisée qui la caractérise, et qu'on n'obtient, à un degré égal, par aucun autre procédé; toutefois, la solution de la diastase, en présence de la dextrine, convertit cette dernière substance graduellement en sucre.

Il faut que la température soit maintenue durant le contact de 65 à 75°; car, si l'on chauffe jusqu'à l'ébullition la solution de diastase, elle perd la faculté d'agir sur la fécule et sur la dextrine.

La diastase existe dans les fruits de l'orge, de l'avoine et des blés germés, près des germes, mais non dans les radicelles; elle n'existe ni dans les pousses, ni dans les racines de la pomme de terre, mais seulement dans le tubercule, près et autour du point d'insertion des jeunes pousses, c'est-à-dire précisément à l'endroit où l'on conçoit que sa réaction puisse être utile pour dissoudre la fécule; elle y est généralement accompagnée d'une substance azotée qui, comme elle, est soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool, mais qui en diffère par la propriété qu'elle a de se coaguler dans l'eau à la température de 65 à 75°; de ne point agir sur la fécule ni sur la dextrine; d'être précipitée dans ses solutions par le sous-acétate de plomb, et éliminée en grande partie par l'alcool avant la précipitation de la diastase. Nous avons encore retrouvé la diastase dans l'écorce, sous les bourgeons de l'*aylanthus glandulosa*, où la présence de l'amidon a été reconnue.

Les céréales et les pommes de terre, avant la germination, ne manifestent point la présence de la diastase; on l'extrait de l'orge germée par les procédés suivants; et l'on en obtient d'autant plus que la germination a été plus régulière, et qu'en se développant,

la gemmule s'est plus approchée d'une longueur égale à celle de chacun des grains[1].

EXTRACTION DE LA DIASTASE.

Après avoir fait macérer l'orge germée en poudre dans l'eau à 25 ou 30° pendant quelques instants, on soumet le mélange pâteux à une forte pression, et l'on filtre la solution trouble : le liquide clair est chauffé dans un bain-marie à 75 degrés; cette température coagule la plus grande partie de la matière azotée, qu'on doit séparer alors par une nouvelle filtration; le liquide filtré, peut servir à différents essais comme diastase brute : il renferme le principe actif, plus un peu de matière azotée, de substance colorante, et une petite quantité de sucre; pour séparer ces corps étrangers, on verse, jusqu'à cessation de précipité, de l'alcool anhydre dans la liqueur : la diastase, y étant insoluble, se dépose en flocons qu'on doit recueillir et dessécher à une basse température, afin de ne pas l'altérer; il faut surtout éviter de la chauffer humide jusqu'à 90 ou 100°.

On l'obtient plus pure encore en la dissolvant dans l'eau et la précipitant de nouveau par l'alcool, surtout si l'on répète ces solutions et précipitations deux fois. Le charbon d'os n'altérant pas les solutions de diastase, on peut l'appliquer à leur décoloration.

On prépare la diastase, exempte de matière azotée étrangère, sans coaguler celle-ci par l'élévation de la température, mais seulement par plusieurs précipitations à l'aide de l'alcool. Après chaque précipitation, il se dissout moins de cette substance, et la diastase devient de plus en plus blanche et pure. Voici le mode d'opérer :

On écrase dans un mortier l'orge fraîchement germée; on l'humecte avec environ son poids d'eau, on soumet ce mélange

[1] L'orge germée des brasseurs contient rarement plus de quatre à cinq millièmes de son poids de diastase pure.

à une forte pression; le liquide qui en découle est mêlé avec assez d'alcool, pour détuire sa viscosité et précipiter la plus grande partie de la matière azotée, que l'on sépare à l'aide d'une filtration; la solution filtrée, précipitée par l'alcool, donne la diastase impure. On la purifie par trois solutions dans l'eau et précipitations par l'alcool; recueillie sur un filtre, elle est enlevée humide, puis desséchée, en couches minces, sur des lames en verre, dans un courant d'air sec ou dans le vide, à 40 ou 45°.

L'opération peut être rendue plus économique en évaporant ces solutions au bain-marie dans le vide, au-dessous de 70°, avant de précipiter la diastase par l'alcool.

Lorsque l'extraction de ce principe immédiat nouveau a été faite avec soin, son énergie est telle qu'une partie en poids suffit pour liquéfier complétement deux mille parties de fécule.

DISSOLUTION ET TRANSFORMATION DE L'AMIDON PAR LA DIASTASE.

Les phénomènes que présentent la dissolution graduée et le changement en sucre de la fécule, suivant les proportions de la diastase et de l'eau, la durée du contact et l'élévation de la température, sont dignes d'attention; nous ferons connaître les plus importants d'entre eux.

Si l'on traite la fécule délayée à froid dans huit ou dix fois son poids d'eau, par 0,005 de diastase, en chauffant le mélange graduellement au bain-marie, la plus vive réaction s'opère entre les températures soutenues de 70 à 80°; elle est telle souvent, que, l'amidon se dissolvant au fur et à mesure qu'il s'hydrate, les grains gonflés disparaissent successivement, et ce mélange n'acquiert pas une consistance d'empois. On s'assure, en mêlant une goutte de solution d'iode, que la totalité de l'amidon est transformée, ce qui a lieu au bout de trois heures de réaction, si la diastase était bien pure.

Une légère proportion de substance amylacée reste quelquefois engagée dans le mélange, sans que sa présence soit décelée par

l'iode; mais, séparée du sucre par l'alcool, elle reste avec la dextrine et se sépare ensuite lorsqu'on dissout celle-ci dans l'alcool faible à 0,35 ou 0,4.

La fécule préalablement hydratée et gonflée par l'eau, ayant une cohésion moindre, est très-rapidement transformée par la diastase.

Lorsque, par exemple, une proportion suffisante de diastase est projetée dans de l'empois à la température de 70 à 75°, qu'une vive agitation multiplie les points de contact où la réaction s'opère, une liquéfaction subite a lieu.

Les figures de la case 2, planche V, font bien voir les effets de cette réaction : au moment où l'amidon est gonflé par vingt fois son poids d'eau à 80° figure A, une goutte de l'empois, mise sous le microscope, présente des grains que l'on peut colorer en bleu par l'iode, sous les formes des figures A', A'. Une minute après l'addition de la diastase, le mélange liquide n'offre plus de grains, et l'iode ne le colore plus qu'en violet de moins en moins foncé, comme l'indiquent les teintes B, B', B'', B'''.

Une autre expérience très-curieuse, que MM. Dutrochet et Dumas ont faite pour observer la réaction de la diastase, consiste à placer dans une petite cavité, entre deux lames de verre, quelques gouttes de solution étendue de diastase et plusieurs grains de fécule, puis à chauffer graduellement sous le microscope. En observant avec attention, on voit les grains se gonfler, puis s'épanouir aussitôt; ils disparaissent tous successivement ainsi dès que la réaction vive commence, entre 65 et 70 degrés centésimaux.

Après la réaction complète de la diastase, il ne reste plus d'insoluble que des traces de corps étrangers qui adhéraient à l'amidon. Ces matières varient suivant les différentes fécules et les soins apportés à leur épuration. Leur proportion excède rarement 0,008 à 0,004, du poids total. Les moyens d'épuration que nous avons donnés les réduisent à moins de 0,0005.

Nous croyons devoir reproduire ici la plupart des résultats

intéressants obtenus par M. Guérin, relativement aux circonstances diverses dans lesquelles il a fait réagir la diastase [1].

A une température de 70 à 75 degrés, 100 parties d'amidon avec 1000 parties d'eau, et 1,7 partie de diastase, ajoutée en deux fois, n'ont donné que 17,58 parties de sucre. Tout le reste de l'amidon pur était, sans aucun doute, alors transformé en dextrine, et il dut en être de même pour les essais suivants.

Il est résulté d'une deuxième expérience que 100 parties d'amidon, converties en empois avec environ 3900 parties d'eau, puis mêlées, à la température de 60 à 65°, avec 6,13 parties de diastase dissoute dans 40 parties d'eau, fournissent 91 parties de sucre.

M. Dubrunfaut est arrivé aussi à augmenter les proportions de sucre en augmentant la quantité d'eau pendant la réaction de l'orge germée.

La réaction de la diastase a lieu dans le vide à 20°; et après vingt-quatre heures, 12,25 de diastase produisent, avec 100 parties d'amidon converti en empois, 77,64 parties de sucre; à froid la diastase fluidifie encore l'empois; en effet, un résultat semblable eut lieu à 0° : 100 parties d'amidon fournirent 12,82 de sucre, que l'on détermina par les produits de la fermentation. C'est sans contredit, comme le dit l'auteur, un résultat surprenant que de voir la diastase, qui n'est ni acide, ni alcaline, liquéfier et saccharifier aussi rapidement l'empois à la température de la glace fondante.

Enfin, en prévenant la congélation à l'aide du sel marin, M. Guérin est parvenu à constater que la diastase fluidifie l'empois d'amidon entre — 12° et — 5°, et qu'il ne se produit pas alors la moindre quantité de sucre, mais bien exclusivement de la dextrine.

GLUCOSE ET DEXTRINE PRODUITES PAR LA RÉACTION DE LA DIASTASE SUR L'AMIDON.

Lorsque la réaction de la diastase sur l'amidon ne laisse plus

[1] L'auteur avait préparé cet agent d'après le premier procédé décrit par MM. Payen et Persoz.

aucune particule colorable en violet rougeâtre par l'iode, le produit contient de la dextrine et de la glucose.

Voici d'abord les carctères communs à ces deux substances et qui les distinguent de l'amidon :

Elles sont très-solubles dans l'eau et dans l'alcool faible.

Dissoutes dans l'eau, elles ne sont point précipitées par le tanin, le sous-acétate de plomb, la chaux ni la baryte; l'iode ne les colore pas en bleu.

Tous ces réactifs exercent, au contraire, par les phénomènes que nous avons décrits, leur influence remarquable sur les solutions d'amidon.

Ni le charbon d'os, ni l'alumine en gelée, aucun des composés binaires, des acides, des oxydes, des sels métalliques, soit neutres, soit à réaction acide ou alcaline, essayés isolément, ne précipitent la glucose ni la dextrine ainsi obtenues.

L'alcool à 95 centièmes ou anhydre ne dissout ni l'une ni l'autre.

Toutefois, les propriétés caractéristiques suivantes séparent nettement l'un de l'autre ces deux produits de la réaction de la diastase.

La glucose est dissoute par l'alcool à 84 centièmes, tandis que la dextrine est précipitée par cet agent et se rassemble hydratée au fond du vase.

Elle offre une saveur sucrée, tandis que la dextrine, légèrement mucilagineuse, est sans saveur marquée, soluble dans l'alcool à 0,30, moins soluble dans l'alcool, à 0,40, et insoluble dans l'alcool à 0,80.

Sous l'influence de l'eau et d'une température convenable, la glucose se transforme en alcool et en acide carbonique. Placée dans les mêmes circonstances, la dextrine ne donne pas d'alcool; elle communique à la bière une propriété mucilagineuse, retient l'acide carbonique, rend la mousse persistante, fait reconnaître cette boisson obtenue des grains ou de la fécule, et la distingue de celle qu'on a essayé de préparer avec d'autres ma-

tières sucrées contenant peu ou point de substances gommeuses. C'est encore à cette matière que l'on doit attribuer les effets de la bière dans la peinture, effets reproduits et variés dans les applications de la dextrine.

La dextrine, sous l'influence de quatre ou cinq volumes d'eau, aiguisée d'un centième d'acide sulfurique chauffé à 100°, se transforme en glucose, identique avec celle que produit la diastase.

Le sucre que donne la diastase est beaucoup plus difficile à dessécher et plus hygroscopique que la dextrine; la composition chimique de ce sucre, d'après les analyses de M. Guérin et de M. Péligot, est la même que celle du sucre de raisin; tous deux ne donnent que des cristaux mous.

100 d'amidon desséché dans le vide sec à froid, et retenant un équivalent d'eau, représentent 100 de sucre provenant de la réaction de l'acide ou de la diastase, et desséché le plus possible.

100 d'amidon desséché dans le vide à + 140°, représentés par $2\,(C^{24}\,H^{18}\,O^{9}\,H^{2}\,O)$, donnent 111,13 du même sucre séché au maximum, que représente la formule

$$C^{48}\,H^{42}\,O^{21},\,3H^{2}\,O$$

d'après M. Péligot, formule qui s'accorde d'ailleurs avec la composition en centièmes des analyses antérieures, par MM. Prout, de Saussure et Guérin.

Enfin les expériences de M. Biot ont prouvé que la dextrine obtenue par la diastase exerce une déviation à droite sur le plan de polarisation de la lumière, au même degré pour des masses égales, que l'amidon à l'état normal.

Les sucres obtenus de l'amidon par la diastase ou par l'acide sulfurique, et celui de diabète, désignés sous le nom de glucose par M. Dumas, sont doués tous trois d'un même pouvoir de rotation à droite, mais ils l'exercent avec une intensité considérablement moindre que la dextrine.

En comparant la composition de la substance amylacée ou de la dextrine avec les formules de la glucose et du sucre, on peut concevoir l'espérance de faire naître un corps intermédiaire du plus haut intérêt.

En effet, l'amidon ainsi que la dextrine, dans un de leurs états les plus stables, capables de s'engager tels dans d'autres combinaisons, se peuvent représenter par la formule

$$C^{24}, H^{18} O^{9}, H^{2} O = C^{24} H^{20} O^{10}.$$

La glucose produite par une hydratation de l'amidon sous plusieurs influences, desséchée à + 130°, est représentée par

$$C^{24}, H^{24} O^{12},$$

tandis que le sucre de canne, soit cristallisé, soit uni à la chaux ou à la baryte, équivaut à

$$C^{24}, H^{22}, O^{11},$$

c'est-à-dire à la combinaison exactement intermédiaire entre le point de départ : l'amidon ou la dextrine, et le produit, ou la glucose au maximum de dessiccation.

Il semble donc que pour changer la fécule en sucre de canne, il suffirait d'arrêter à point l'hydratation ou de ménager les proportions des agents ou les circonstances, de manière à tomber directement sur cet important terme intermédiaire. C'est dans cette direction que je poursuis actuellement une de mes séries de recherches.

PROPRIÉTÉS DE L'AMIDON À DEMI DÉSAGRÉGÉ PAR LA DIASTASE.

Nous avons vu que la diastase peut mettre en dissolution deux mille fois son poids de fécule.

Si l'on arrête la réaction en portant à 100° la température aussitôt que la fluidité s'opère, puis que l'on fasse rapprocher le

liquide en consistance sirupeuse, on observera que la matière est devenue opaque après le refroidissement; delayée dans l'eau, une forte proportion refusera de s'y dissoudre; lavée jusqu'à l'épuisement de tout ce qui était soluble, elle est redissoute, pour la plus grande partie, dans l'eau chauffée à 65 degrés; entretenue en solution aqueuse entre 70 et 80°, elle laisse peu à peu déposer les corps étrangers et les parties peu désagrégées. La solution filtrée, rapidement évaporée, puis desséchée en couches minces, présente alors l'amidon à demi désagrégé, incolore et diaphane.

Il est insipide et neutre; exposé à l'air saturé d'humidité, il s'y gonfle, reste en plaques souples mais cassantes; plongé dans l'eau froide, il se gonfle d'avantage, absorbe plus d'eau mais reste un peu élastique, conserve encore ses formes et présente les mêmes cassures anguleuses.

Chauffé à 65° dans l'eau, il se dissout; le liquide évaporé devient de plus en plus sirupeux; redesséché il reprend ses caractères primitifs; mis en contact avec l'eau froide sans aucune agitation, il ne s'en dissout que très-peu, et l'iode accuse à peine sa présence dans le liquide.

Mais si on le broie à sec ou mouillé, puis qu'on l'étende d'eau, le liquide, même filtré, en contient une très-notable proportion, et se colore fortement en un violet se rapprochant d'autant moins du bleu qu'on a versé plus d'iode.

Tous les liquides froids, diaphanes, obtenus par les précédentes réactions de l'eau, et qui contiennent de l'amidon pur, sont troublés par l'alcool en quantité suffisante et d'autant moindre que l'amidon a été moins divisé, ou moins longtemps chauffé en contact avec l'eau.

Si l'on étend d'eau à l'instant même, le précipité d'amidon se redissout; si l'on attendait quelques heures la même addition ne pourrait plus éclaircir la liqueur, bien que le précipité fût d'une assez grande tenuité encore pour rester en suspension, et que, chauffé dans cet excès d'eau, il fût dissous et ne reparût plus

dans le liquide refroidi, à moins qu'on n'y ajoutât de nouveau un assez grand excès d'alcool. On démontre donc ainsi que la plus légère cohésion suffit pour rendre l'amidon insoluble et que cependant, très-sensiblement désagrégé, le principe immédiat conserve une propension forte à une réagrégation notable.

Lorsqu'on a employé seulement la proportion d'alcool nécessaire pour faire apparaître l'amidon en suspension, et que l'on soumet le liquide troublé à l'élévation graduée de la température, il s'éclaircit entre le 65 et 66e degré, puis il se trouble de nouveau en refroidissant. Ces phénomènes peuvent être reproduits un grand nombre de fois. Ils offrent encore une analogie frappante avec ceux que produit l'iodure d'amidon par la chaleur, et s'expliquent de la même manière.

Sous l'influence d'un grand excès d'alcool, la solution aqueuse froide de l'amidon laisse cette substance précipitée insoluble à chaud comme à froid.

Si l'on traite les diverses fécules par 100 fois leur poids d'eau chauffée avec elles jusqu'à 100°, et que l'on filtre, le liquide diaphane sera d'autant plus promptement précipité, avec de moindres proportions d'alcool et en flocons d'autant plus volumineux, qu'il proviendra de fécules plus grosses, douées d'une plus forte cohésion ; qu'enfin il aura été chauffé moins longtemps.

L'amidon précipité par l'alcool n'est pas altéré, car, recueilli, lavé, puis desséché à basse température, à l'air ou dans le vide, il jouit de toutes les propriétés qui le caractérisent si bien; les réactions suivantes résultent encore des dispositions organiques précitées: elles offrent de nouveaux exemples de contraction de la substance amylacée.

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS PAR LE CONTACT DU TANIN.

Les liquides aqueux, diaphanes, froids, qui contiennent l'amidon offrent, à de légères modifications près, les phénomènes suivants.

La solution du tanin les trouble et produit ensuite un précipité qui se réunit en flocons allongés gris, opaques, puis en magma au fond du vase.

Les mêmes liquides, préalablement bleuis par l'iode, sont subitement décolorés par la solution astringente; un précipité grisâtre se dépose ensuite; la solution du tanin empêche complétement les réactions de la diastase sur l'amidon.

Si dans une solution aqueuse, filtrée, refroidie, d'amidon, obtenue d'une partie de fécule dissoute à chaud dans 100 d'eau, l'on verse peu à peu la solution du tanin pur de M. Pelouze, on observe d'abord un précipité laiteux que l'excès de la première solution peut redissoudre.

Puis un précipité plus abondant, qui rend le liquide blanc opaque, ne se dépose pas, même au bout de six heures, ne se dissout pas, même dans beaucoup d'eau qu'il rend opaque ou opaline pendant plusieurs jours.

Plus abondant encore par une nouvelle addition du tanin, le précipité rend le liquide plus opaque (au bout d'un ou de plusieurs jours, une partie du précipité se dépose en magma adhésif, la chaleur le fait redissoudre et le refroidissement le fait reparaître en suspension).

Si l'on fractionne les solutions d'amidon troublées par le tanin et qu'on observe une partie de chacune d'elles sous l'influence de la chaleur, on verra qu'elles deviennent toutes limpides, par des élévations de température qui varient avec la proportion du composé et reprennent leur opacité par le refroidissement.

Ainsi le liquide contenant déjà assez de précipité pour être opaque à 20° dans un tube de six millimètres, devient diaphane chauffé à 36°; refroidi à 30° il commence à se troubler et à reprendre graduellement son opacité première.

Ces derniers phénomènes, reproduits plusieurs fois avec le même liquide, sont encore analogues à ceux que présente le composé bleu sous l'influence des variations de température.

PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX FÉCULES AMYLACÉES EXTRAITES DE DIVERSES PLANTES À DIFFÉRENTES ÉPOQUES DE LA VÉGÉTATION.

En employant l'iode, les acides, les sels, la congélation et les autres agents qui produisent avec l'amidon de pomme de terre les phénomènes décrits ci-dessus et plus loin, on obtient les mêmes résultats avec plusieurs autres amidons, sauf de légères modifications dues aux variétés de cohésion entre les particules amylacées; ainsi la fécule des panais, si fine et si facilement attaquable à l'eau, traitée de la même manière, laisse apparaître des flocons d'une belle nuance bleue, mais d'une finesse très-grande, qui semble être en rapport avec la ténuité de la fécule employée, et la plus faible agrégation de ses parties.

Les mêmes causes expliquent la plus grande promptitude de son hydratation et des diverses actions chimiques, exercées sur elle.

On obtient des résultats analogues avec l'amidon, plus fin encore, de l'endosperme des graines du *nyctago hortensis* (*mirabilis jalapa*, belle-de-nuit).

Les fécules suivantes ont encore les mêmes propriétés caractéristiques, bien qu'elles offrent dans la conformation de leurs grains plusieurs particularités.

On trouve dans la racine tuberculeuse de l'igname (*dioscorea alata*) une fécule ayant des figures assez variées; un grand nombre de ses grains sont plus ou moins irrégulièrement arrondis; d'autres ont une forme ellipsoïde ou celle d'un cylindre terminé par deux portions de sphéroïde.

Parmi ces derniers, le corps cylindrique est dans quelques-uns plus ou moins infléchi; enfin dans plusieurs on remarque un contour triangulaire dont les côtés sont curvilignes et les angles arrondis.

Les grains de l'amidon des tubercules de *l'oxalis crenata*, venus à maturité, ont aussi la plupart une conformation remar-

quable décrite figure 4, planche IV; tous laissent distinctement voir, à partir du hile, les lignes excentriques qui indiquent l'accroissement progressif de la sécrétion amylacée.

OBSERVATIONS SUR LES CARACTÈRES DE L'AMIDON À L'ÉTAT NAISSANT, ET PARTICULARITÉS RELATIVES À CE PRINCIPE IMMÉDIAT DANS QUELQUES LÉGUMINEUSES.

Afin de rechercher si les mêmes propriétés existaient dans l'amidon à l'état naissant ou très-jeune, j'examinai cette sécrétion au moment où elle se montre dans les cotylédons encore baignés par le liquide sucré de l'ovule du *pisum sativum*.

Ses grains, très-petits alors, offrirent aussi les caractères physiques et chimiques qui précèdent et ceux que nous exposerons plus loin; une particularité remarquable dans leurs formes a été décrite et figurée planche VII, figure 4 *bis*.

Dans les cotylédons de la fève commune on trouve des grains d'amidon plus sinueux encore.

L'amidon extrait des haricots et des lentilles présente des grains qui se dessinent par des contours moins sinueux que les précédents.

Enfin, l'amidon, en très-petite quantité dans les graines de *colutea arborescens* (baguenaudier), est en grains excessivement petits, qui sont arrondis quoique plus ou moins irréguliers.

La configuration sinueuse, contournée ou vermiforme, observée dans plusieurs graines des légumineuses, ne se retrouve donc pas dans toutes au même degré; elle offre un exemple de plus des variétés de formes que peut affecter l'amidon dans les circonstances légèrement variables où se produit cette sécrétion, sans que les caractères physiques essentiels ni la composition chimique soient différents.

AMIDON COMPLÉTEMENT ÉPURÉ, DISSOLUTION, SANS RESTE APPRÉCIABLE PAR LA DIASTASE ET L'EAU AIGUISÉE D'ACIDE SULFURIQUE.

Voici un résultat dont je dois les premiers indices à M. Beudant: lorsque ce savant s'occupait d'appliquer avec tant de succès, en

grand, la réaction de la diastase, la très-faible proportion du résidu de cette réaction lui fit penser qu'il pouvait être dû à des corps étrangers, et non à un tégument d'une autre nature que l'amidon. Je suis parvenu à démontrer cette hypothèse en débarrassant l'amidon de pommes de terre des corps étrangers à l'aide du procédé décrit pages 292 à 294. L'amidon est alors d'une blancheur éclatante, soluble sans reste appréciable dans l'eau, par la diastase comme par l'eau aiguisée d'acide sulfurique. Il a servi en cet état aux expériences optiques de M. Biot, et m'a permis d'observer, sous l'influence d'une hydratation plus rapide, une transformation plus complète de l'amidon par la diastase, et d'obtenir ainsi un sirop plus sucré, immédiatement limpide.

ANALYSE COMPARÉE DE L'AMIDON ET DE SES PARTIES LE PLUS FORTEMENT AGRÉGÉES.

Afin de reconnaître s'il existait des différences dans la composition élémentaire de l'amidon doué de plus ou moins de cohésion, j'ai cru devoir comparer la composition des parties agrégées le plus fortement, le moins altérables par conséquent, pendant leur séparation, avec celle de l'amidon intact.

A cet effet l'amidon, épuré par les procédés ci-dessus décrits, fut chauffé à la température de 90 degrés dans 100 fois son poids d'eau; tous ses grains étant ainsi dilatés ou rompus, on laissa refroidir à 0°; puis on élimina les portions les plus désagrégées ou dissoutes, au moyen de lavages successifs par 100 fois le volume de toute la masse d'eau à 0°, puis enfin, par une pression très-lentement graduée de la substance mise entre vingt doubles de papier à filtre lavé.

L'amidon le plus résistant, ayant été obtenu ainsi très-pur, fut ensuite desséché dans le vide sec à froid; on le réduisit en poudre, puis la dessiccation fut alors achevée dans le vide sec et au bain d'huile chauffé à 100°. 0^{gr}, 445, brûlés avec tous les soins utiles, ont donné en eau 260 millig. et en acide carbonique 707 millig. d'où l'on a déduit la composition suivante :

Carbone..... 44,0
Hydrogène..... 6,4 } = 100,0
Oxygène..... 49,6

Et la formule : C^{12}, H^{10}, O^5.

C'est la même que celle de l'amidon pur. Or, les parties qui ont le plus de cohésion ayant la même composition élémentaire que l'amidon tout entier, les portions de celui-ci qui ont une cohésion moindre ne sauraient avoir une composition différente; toute la substance constitue donc un seul principe immédiat organique.

EXTRACTION DE LA DEXTRINE PURE.

Les moyens dont je me suis servi pour éliminer complétement le sucre de la dextrine, dans le produit non colorable par l'iode de la réaction de la diastase sur l'amidon, exigent du temps et de la patience; car, après la dissolution par l'alcool faible et la précipitation par l'alcool, on n'obtient qu'une solution alcoolique contenant plus de sucre que de dextrine, et un précipité renfermant plus de dextrine que de sucre.

En redissolvant dans l'eau et précipitant encore sans employer un excès d'alcool, le même phénomène se passe, et la dextrine précipitée est seulement moins impure.

Ce n'est qu'en réitérant jusqu'à 10 fois cette manipulation, et sacrifiant une grande partie de la dextrine, qu'on obtient l'autre portion de celle-ci entièrement exempte de sucre.

En cet état, elle se dessèche facilement en couches minces, dans un courant d'air sec et sans conserver d'adhérence avec les corps polis, la porcelaine ou le verre, par exemple, tandis que mélangée avec le sucre elle adhère au point qu'après sa dessiccation, on ne peut l'enlever sans arracher une partie de la substance même des vases; la dextrine diaphane incolore offre d'ailleurs l'ensemble des caractères précédemment décrits.

POUVOIR DE ROTATION DE LA DEXTRINE.

M. Biot voulut bien me demander un échantillon de la dextrine ainsi obtenue, afin d'observer son pouvoir de rotation à droite sur la lumière polarisée, et il le trouva égal à celui de l'amidon récemment mis en dissolution par l'eau bouillante ou par d'autres agents.

La composition chimique s'accorde bien, comme on va le voir, avec cette observation directe d'un pouvoir moléculaire constant.

ANALYSE DE LA DEXTRINE.

L'analyse de la dextrine desséchée à 100° dans le vide sec a donné les résultats suivants pour cent parties :

	EXPÉRIENCE.	FORMULE.	
C.....	44,0	$C^{12} = 0,44,444$	
H.....	6,59	$H^{10} = 0,06,172$	$= 1,00$
O.....	49,41	$O^{5} = 0,49,384$	

Elle représente donc la composition de la dextrine qui se se trouve ainsi être égale à celle de l'amidon pur.

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE L'AMIDON DE DIVERSES PLANTES ET DES PRODUITS DE SA DISSOLUTION; POIDS ATOMIQUE DE L'AMIDON ET DE LA DEXTRINE, ET DÉFINITION DE LA NATURE CHIMIQUE DE CES DEUX CORPS.

Les faits précédemment exposés démontrent qu'au milieu de ces nombreuses modifications l'amidon conserve toutes ses propriétés chimiques; qu'on y peut reconnaître ses caractères physiques spéciaux, en tenant compte des différences plus ou moins prononcées d'agrégation entre ses particules intégrantes; qu'une simple action mécanique peut produire plusieurs degrés de cette désagrégation;

Que, mieux encore, l'eau avec l'aide de la chaleur et de l'action mécanique, permet de pousser plus loin la désagrégation sans atteindre à ses limites;

Qu'enfin plusieurs agents chimiques : la diastase, les acides sulfurique, chlorhydrique, tartrique, etc. opèrent rapidement la dissolution entière de l'amidon, ne lui laissant aucun des caractères dus à cette agrégation particulière, parfois imperceptible directement, mais pourtant d'une tenacité remarquable : c'est donc une dernière transformation par suite de laquelle l'extensibilité, la contractilité sont détruites, de même que la faculté de se teindre, par la combinaison de l'iode, en bleu ou dans les diverses nuances de violet, et jusqu'au rouge, suivant les degrés de sa division; mais toutes ses propriétés incontestablement chimiques lui restent.

Ainsi donc, l'amidon intact et ses parties les plus contractiles ou les plus contractées ont la même composition chimique que le produit de sa plus complète dissolution; mais en était-il de même des états intermédiaires? cela paraissait rationnel; cependant plusieurs caractères remarquables pouvaient porter à penser, soit que deux ou plusieurs substances différentes préexistassent dans l'amidon, soit qu'elles fussent produites par le concours de l'hydratation, des broyages et de la chaleur; qu'ainsi elles présenteraient, malgré leurs propriétés communes, des différences dans leur composition chimique; il restait encore à vérifier si les fécules, offrant des formes et des cohésions variées, extraites des fruits, des graines, des tubercules et des racines de plantes différentes, contenaient bien le même principe immédiat, comme l'indiquaient leurs propriétés et de nombreuses réactions chimiques; enfin, si le produit de la dissolution de ce principe, à l'aide de l'acide sulfurique ou des alcalis, avait réellement la même composition que la dextrine produite par la diastase.

Toutes ces questions ne pouvaient être définitivement résolues que par les analyses immédiates et élémentaires de diverses fécules.

ANALYSES COMPARÉES DES PARTIES PLUS RÉSISTANTES ET DE CELLES QUI SONT PLUS DISSOLUBLES DANS LES GRAINS D'AMIDON.

J'ai extrait avec soin, à l'aide de broyages et lavages réitérés à froid et à 100°, 1° les parties le moins agrégées dans la fécule; 2° les portions qui, douées de plus de cohésion naturelle, en acquièrent davantage en se resserrant par l'évaporation.

Les substances furent d'ailleurs réduites en poudre fine et amenées chacune à la limite ultime de siccité, sans altération avant d'être analysées [1].

Voici les résultats obtenus en opérant ainsi :

1°. Analyse de la portion le plus fortement agrégée [2].

A. Desséchée entre 75 et 80° centésimaux à l'air.

B. Nouvelle quantité obtenue par les mêmes moyens; desséchée dans le vide sec à la température soutenue de 100°.

	A	B
Carbone	40,073	44,493
Hydrogène	6,442	6,127
Oxygène	53,585	49,380
	100	100

2° Analyse de la partie le plus aisément désagrégeable [3].

A. Desséchée de 100 à 105° dans le vide sec.

B. Partie semblable tirée de la fécule de *maranta arundinacea*, desséchée à 100° dans le vide.

[1] Tous les détails de ces analyses se trouvant consignés dans les Annales de chimie, t. CCXXV, je n'ai pas cru devoir les reproduire ici.

[2] Elle avait été extraite par les procédés décrits pour la préparation des deux parties, qu'on supposait être des principes de nature spéciale dans l'amidon.

[3] Elle fut extraite suivant les procédés indiqués de la troisième partie, que l'on supposait constituer dans l'amidon un principe immédiat.

	A	B
Carbone	44,270	44,3
Hydrogène	6,27	6,2
Oxygène	49,46	49,5

3° Analyse de l'amidon intact épuré par l'alcool et l'eau.

A. Fécule de pommes de terre desséchée directement dans le vide sec, à la température de 100°.

B. Fécule de panais séchée dans le vide sec à 100°.

C. Amidon des fèves, remarquable par ses gibbosités et sa configuration sinueuse, desséché à 100° dans le vide.

D. Fécule de *maranta arundinacea*, desséchée à 200° dans le vide sec.

	A	B	C	D
Carbone	43,81	44,45	44,4	44,33
Hydrogène	6,10	6,39	6	6,25
Oxygène	50,09	49,16	49,6	49,42

4° Analyses comparées de l'amidon dissous par divers agents. (Dextrine.)

Cette série de recherches était utile pour reconnaître si le produit de la dissolution intégrale de l'amidon, par des agents chimiques très-différents, avait une composition chimique identique avec celle de l'amidon intact et ses parties plus ou moins agrégées.

A. J'examinai d'abord une substance obtenue en grand, à l'aide d'une température soutenue entre 200 et 210°, qui rend la fécule en grande partie soluble.

A l'aide de lavages à chaud et à froid par l'alcool à 36°, puis à 30°, on lui enleva la plus grande partie de la matière colorante;

son épuration fut achevée par solution dans l'eau à 90°, filtration et rapprochement, précipitation par l'alcool et dessiccation. Dissoute alors dans l'eau chaude, filtrée, puis évaporée à sec, on l'obtint diaphane et cassante; réduite en poudre fine et séchée dans l'air à 80° de température, son analyse a offert les résultats qui suivent, indiqués colonne A du tableau ci-après.

Une portion de la même substance, desséchée à 100° dans le vide, a perdu 0,025; ce qui donnerait pour sa composition dans cet état de siccité les nombres de la colonne B.

Un produit commercial analogue, la *dextrine* de MM. Heuzé, conserve aussi les formes des grains de fécules; il est plus soluble et presque incolore; purifié de même, il a donné la dextrine blanche et diaphane comme du cristal. Son analyse présente les nombres de la colonne C.

La dessiccation avait eu lieu à + 100° dans le vide sec.

On rendit l'amidon soluble à froid par un procédé analogue à celui que M. Biot emploie pour obtenir la dextrine: en le triturant avec son poids d'acide sulfurique concentré, délayant et broyant le magma avec moitié de son volume d'eau, laissant en contact pendant une heure, précipitant par l'alcool et délayant dans l'eau (dix fois alternativement, afin d'éliminer les dernières traces de sucre), faisant dissoudre, filtrer, puis rapprocher à siccité; on broie alors; on dessèche dans le vide sec, à la température de 100°; analysé en cet état, cet amidon soluble a donné les résultats de la colonne D.

On obtint encore la dissolubilité de l'amidon, quoique à un bien moindre degré, en le traitant par 0,5 de son poids de soude ou de potasse pures, dissoutes dans 20 fois leur poids d'eau, tenant pendant dix à douze heures le mélange à la température de 50 à 60°, et l'agitant de temps à autre, séparant ensuite les corps étrangers par l'acide acétique, puis, comme ci-dessus, par l'alcool et l'eau alternativement; enfin à l'aide d'une filtration et de l'évaporation à siccité; la substance desséchée alors à 80° donna les nombres contenus dans la colonne E.

La même substance, desséchée à 100° dans le vide sec, perdit 0,0095, ce qui ramène sa composition aux nombres F.

	A	B	C	D	E	F
Carbone.....	43,16	44,2	44,27	43,57	43	44,4
Hydrogène.....	6,21	6	6,27	6,11	6,17	6,1
Oxygène.....	51,63	49,8	49,46	50,32	50,83	49,5

Ainsi donc toutes les substances analysées furent représentées, après leur dessiccation complète, par la formule:

$$C^{12}\,H^{10}\,O^{5} \text{ ou } C^{24}\,H^{20}\,O^{10}.$$

Il restait encore à comparer le poids atomique de la dextrine avec celui qu'on admet pour l'amidon, et à vérifier celui-ci afin de résoudre complétement la question si longtemps débattue, et de contrôler tous les résultats précédents. Ces nouvelles recherches offraient des difficultés d'un autre genre, que je suis enfin parvenu à surmonter.

ÉQUIVALENT DE LA DEXTRINE DÉDUIT DE SES COMBINAISONS AVEC LE PROTOXYDE DE PLOMB ET AVEC LA BARYTE.

La dextrine obtenue pure et soluble offre le dernier degré de désagrégation de la fécule amylacée; aussi ne peut-on précipiter ses solutions par aucun des nombreux agents, l'alcool excepté, qui contractent l'amidon gonflé ou dissous dans l'eau, et décèlent en lui des propriétés dépendantes de l'organisme ou du groupement particulier de ses molécules intégrantes.

Supposant que, si la dextrine n'avait pu être précipitée par l'un des oxydes métalliques qui se combinent avec le plus grand nombre des substances organiques, cela pouvait tenir, soit à ce que la combinaison était soluble, soit à ce qu'elle n'avait pas été possible en présence d'un acide, même faible, j'essayai

d'abord de faire intervenir des dissolvants peu énergiques, saturés de dextrine, puis une base inerte sur la substance organique, mais capable de rompre l'équilibre, en sollicitant l'acide faible, uni à l'oxyde métallique, puis enfin les deux moyens réunis.

Voici les résultats des recherches entreprises d'après ces vues :

La dextrine dissoute jusqu'à saturation dans l'alcool à 0,56°, la température étant + 24°, se déposait hydratée, sirupeuse, et en proportions d'autant plus fortes que la température s'abaissait d'avantage; on la redissolvait en chauffant de nouveau à 24° et en agitant.

Ces solutions, en proportions diverses, étaient abondamment précipitées par l'alcool anhydre ou à 0,95. Aucune d'elles ne fut troublée par les solutions aqueuses d'acétate neutre ou tribasique de plomb, ni même par une solution saturée d'acétate neutre, dans l'alcool à 0,56.

Les mêmes faits furent observés en mêlant ensemble des solutions saturées de dextrine et d'acétate de plomb dans l'alcool à 0,4.

Ce premier ordre de moyens ne procurant pas encore la précipitation de la dextrine combinée, on tenta le deuxième procédé.

A cet effet, un excès d'ammoniaque fut ajouté dans une solution aqueuse étendue d'acétate neutre de plomb; le liquide filtré commença, au bout de quelques heures, à déposer des cristaux blancs, très-fins, aiguillés, brillants.

Avant comme après la cristallisation, les solutions aqueuses d'acétate de plomb, contenant encore un excès d'ammoniaque, donnèrent, avec les solutions de dextrine, un précipité blanc, opaque, très-volumineux, soluble par une addition d'acide acétique [1].

[1] La présence de l'excès d'ammoniaque est la cause déterminante de la réaction, sans doute parce que cette base s'unit à l'acide acétique, tandis que l'oxyde de plomb se porte sur la dextrine; en effet, les cristaux aiguillés, bien lavés et séchés dans le vide, ne retiennent plus d'ammoniaque, et leur dissolution ne précipite plus la dextrine. La précipitation a lieu si on ajoute alors de l'ammoniaque au mélange.

Voici les résultats obtenus en employant, pour précipiter la dextrine, l'acétate ammoniacal [1], qui pourra s'appliquer à la détermination du poids atomique de quelques autres matières organiques difficiles à combiner.

5 décigrammes de dextrinate de plomb (obtenu en versant la dextrine dans un excès du réactif, bien lavé, égoutté, séché à 50° dans le vide sec), brûlés, ont laissé un résidu de protoxyde de plomb pesant 2,89, quantité qui était, par conséquent, unie avec 2,11 de dextrine. D'où l'on tire :

$$2{,}19 : 2{,}11 :: 1394{,}5 : 1018{,}1.$$

Or, la composition élémentaire de la dextrine, telle que je l'ai indiquée, donnerait

$$\left.\begin{array}{ll} C^{12} \ldots\ldots\ldots\ldots & 450 \\ H^{10} \ldots\ldots\ldots\ldots & 62{,}5 \\ O^{5} \ldots\ldots\ldots\ldots & 500 \end{array}\right\} = 1012{,}5$$

Donc le poids de dextrine, équivalant à l'oxyde de plomb, peut être égal à 1012,5.

Afin de vérifier s'il n'existait pas un autre composé, je changeai ainsi les circonstances de la réaction : l'acétate ammoniacal en solution aqueuse froide fut versé peu à peu et en agitant beaucoup dans une solution chaude de dextrine; on voyait à chaque addition un précipité se former et disparaître par le mouvement.

On continua ainsi jusqu'à ce qu'il se produisît un précipité permanent, égal à peu près, en volume, à la moitié de ce que pouvait donner une partie de la même solution par un excès du réactif.

[1] Je désigne ainsi, par abréviation, la solution d'acétate de plomb tribasique, contenant de l'acétate d'ammoniaque, plus un excès d'ammoniaque. (Voir *Annales de chimie*, t. XXXVII, p. 66, mon Mémoire sur les acétates et l'hydrate de protoxyde de plomb.)

Le précipité, recueilli et lavé à l'abri de l'acide carbonique, fut dissous à chaud, et la solution évaporée dans une cornue jusqu'à ce que la température de l'ébullition fût égale à 115°; refroidie alors, un excès d'ammoniaque reproduisit le précipité qui fut recueilli, lavé, égoutté, séché [1].

La combinaison ainsi épurée fut desséchée à 100°, jusqu'à cessation de perte; mise alors en poudre impalpable, elle laissa dégager une nouvelle quantité d'eau à la même température; complétement brûlée, elle donna les résultats suivants : sur 3 décigrammes, qui se sont réduits dans trois expériences à

$$1^{re},\ 1,18;\ —\ 2^{e},\ 1,2;\ —\ 3^{e},\ 1,225;\ \text{moyenne},\ 1202,$$

d'où l'on tire

$$120,2 : 179,8 :: 1294,5 : 2086.$$

En admettant que ce fût la combinaison définie, le poids atomique de la dextrine devait être représenté par $C^{24}\ H^{20}\ O^{10}$, résultat que notre premier essai rendait probable, car il était relatif à la combinaison riche en oxyde métallique qui devait être bibasique.

Un autre réactif, la solution de baryte dans l'esprit-de-bois, découvert par MM. Dumas et Péligot, pouvant contrôler ces premiers résultats, j'étudiai quelques-unes de ses propriétés relatives à la dextrine.

L'esprit-de-bois, marquant 97° à l'alcoomètre Gay-Lussac, étendu de son volume d'eau, peut être mêlé en toutes proportions avec la solution saturée de dextrine, dans l'alcool à 0,56°, sans qu'il y ait précipitation; mais ce mélange est précipité en flocons volumineux par l'acétate de plomb ammoniacal. Il en est de même de la solution de dextrine dans l'esprit-de-bois à

[1] La combinaison de dextrine qui surnageait le précipité, séparée par l'alcool et calcinée à l'air, laissa incinérer la matière organique en revivifiant, à très-peu près, la totalité du plomb en sphéroïdes; celui-ci, complétement brûlé par trois additions d'acide azotique, représenterait un équivalent pour six de dextrine.

0,5. Un excès de cette solution fait redissoudre le précipité, surtout à chaud; par le refroidissement, il se dépose une partie de la dextrine en flocons hydratés.

J'essayai donc de trouver encore le poids atomique de la dextrine dissoute dans l'alcool à 0°,56 ou dans l'esprit-de-bois à 0,5 en la combinant avec la baryte dissoute dans l'esprit-de-bois étendu de son volume d'eau, lavant avec le même dissolvant à l'abri du contact de l'air ou, du moins, de l'acide carbonique, desséchant dans le vide, etc. [1].

Le composé de baryte et de dextrine, préparé sec à l'aide de toutes les précautions minutieuses [2] indiquées, au point où son incinération entre plusieurs temps d'une température soutenue donnait des produits sensiblement égaux, a présenté les nombres ci-après dans trois expériences :

3 décigrames ont laissé en résidu:

1re, 0,96; — 2e, 0,95; — 3e, 0,95,5; — moyenne, 0,95,5
ou 95,5 de baryte pour 204,5 de dextrine;

d'où l'on tire

$$95{,}5 : 204{,}5 :: 956{,}09 : 2040.$$

Et enfin cette conclusion que la composition atomique de la dextrine peut être représentée par la formule $C^{24}\ H^{20}\ O^{10}$.

Afin de contrôler définitivement tous les résultats qui précèdent, je me décidai à déterminer par l'oxyde de plomb la composition du composé de dextrine et d'oxyde de plomb, afin

[1] Voyez les détails de cette difficile opération, *Annales de chimie*, t. LXV, p. 225.

[2] Il retient l'eau avec une telle tenacité que, devenu solide et pulvérulent sous l'influence d'un courant d'air sec, sans acide carbonique, à une température de 100° soutenue durant dix heures, sa perte, par l'incinération, après un boursouflement considérable, a été de 231 milligrammes sur 361 : il ne restait que 69 de baryte. Or, 69 : 231 :: 956,9 : 3203; déduisant de ce nombre l'équivalent de la dextrine y engagée, ou 2042, il reste 1161 ou sensiblement dix atomes d'eau. Séché de même à + 140°, il conserve sept équivalents d'eau et se boursoufle encore avant de brûler.

d'en comparer les nombres avec ceux que donnerait la composition définie du même ordre avec l'amidon.

L'analyse élémentaire du dextrinate bibasique de plomb a donné les résultats suivants :

Carbone	1,58		
Hydrogène	0,22	3,57	8,42
Oxygène	1,77		
Protoxyde de plomb	4,85		

Et la relation entre l'oxyde et la dextrine : 485 : 3,57 :: 2789 : 2052 ou la formule

$$2\,PbO,\ C^{24}H^{20}O^{10},$$

que l'on déduit, soit de la somme des éléments de la substance organique, soit encore de leur poids proportionnel entre eux.

Le dextrinate neutre donnait lieu aux mêmes conclusions et sa formule paraissait être

$$PbO,\ C^{24}H^{20}O^{10}.$$

La dextrine ainsi combinée offrait donc un cas d'isomérie avec le sucre de canne.

Toutefois, comme ce dernier contient à l'état libre un atome d'eau qu'on peut lui enlever en le combinant, M. Dumas pensa qu'il en devait être de même de la dextrine, et, après avoir vérifié ce doute par des analyses sur les deux dextrinates desséchés à + 180° dans le vide, il m'engagea à m'en assurer de mon côté ; en conséquence, je soumis le dextrinate bibasique en poudre impalpable, et qui m'avait fourni la dose précédemment analysée, à une nouvelle dessiccation dans le vide sec, deux fois à une température de 175 à 180°.

Ce composé, de blanc qu'il était, avait pris, par cette élévation de température, une teinte jaune fauve, mais il était resté soluble dans l'acide acétique faible, sans dégagement de gaz et sans coloration. Il n'avait donc pas subi d'altération sensible.

353,6 milligrammes furent réduits dans cette opération à

344,7, d'ou l'on voit que les 842 milligrammes analysés se seraient réduits à 820, équivalant à

$$\left.\begin{array}{l} C.\ldots\ldots 158{,}0 \\ H.\ldots\ldots 19{,}7 \\ O.\ldots\ldots 157{,}3 \end{array}\right\} = 335{,}0 \left.\begin{array}{l} \\ \\ 485{,}0 \end{array}\right\} = 820{,}0$$
$$PbO.\ldots\ldots$$

Ces nombres correspondent à la formule

$$C^{24}\,H^{18}\,O^{9}\,2\,Pb\,O,$$

dans laquelle le carbone est à l'hydrogène :: 917,28 : 112,32, ou encore :: 158 : 19,45 et le dextrinate est à la matière organique :: 4718 : 1929 ou encore :: 820 : 335,2. En comparant tous les nombres de la formule avec ceux de l'analyse, on trouve :

		Calcul.	Expérience.
C^{24}.....	900	19,25	19,2
H^{18}.....	112,5	2,38	2,4
O^{9}.....	900,0	19,37	19,3
$2PbO$.....	2789,0	59,0	59,1
	4701,5	100,00	100,00

Le dextrinate neutre de plomb, par sa dessiccation à + 175° centésimaux, perdit, relativement à la substance organique, une égale proportion d'eau.

Ainsi donc la dextrine, aussi sèche qu'on puisse l'obtenir, est représentée par $C^{24}\,H^{20}\,O^{10}$; mais elle contient alors 1 équivalent d'eau en combinaison; on peut le lui enlever après qu'on l'a combinée avec l'oxyde de plomb, et alors son poids atomique devient

$$C^{24}\,H^{18}\,O^{9} = 1912{,}5.$$

Il restait encore à rechercher si le poids atomique de l'amidon pur était le même que celui de la dextrine.

Je préparai donc un amylate bibasique de plomb en traitant 2 grammes d'amidon pur par 250 grammes d'eau; portant à

l'ébullition, qui fut soutenue 20 minutes sans évaporation, tout le liquide, mis sur deux filtres, donna une solution limpide, qui fut versée dans un excès de la solution d'acétate de plomb ammoniacal; le précipité, recueilli sur un filtre, lavé, séché, égoutté dans le vide sec jusqu'à la température de 180° centésimaux, prit alors une nuance fauve semblable à celle du dextrinate soumis à la même température.

L'analyse élémentaire de cet amylate a donné les résultats suivants :

$$M = 8{,}245,\ C^2\,O^2 = 6{,}35,\ H^2\,O = 1{,}97,$$

d'où

112,5	:	12,5	::	1,97	:	H.....	= 2,188
1,97	—	0,2188	=			O.....	= 17,512
276,5	:	76,5	::	6,37	:	C.....	= 17,624
						PbO....	= 45,126
							82,450

Dans ces nombres, la proportion de l'oxyde est trop faible pour correspondre exactement au composé bibasique ; mais la formation d'une petite quantité d'amylate neutre suffisait pour expliquer ce résultat.

Je crus cependant devoir assayer de me rapprocher plus expérimentalement des formules rationnelles, et, à cet effet, je préparai une dose d'amylate, en prenant plus de précautions pour éviter la formation de l'amylate neutre; voici les résultats de son analyse :

$$M = 854{,}2,\ C^2\,O^2 = 64,\ H^2\,O = 195,$$

d'où l'on tire

276,5	:	76,5	::	64	:	C..... 177,10	= 372,10
112,5	:	12,5	::	195	:	H..... 21,66	
195	—	21,66	=	.....		O..... 173,34	
						PbO.....	482,09
							854,19

On voit que la base diffère encore ici de la proportion théorique; quant à la formule de la substance organique, elle cadre aussi exactement que possible avec ces nombres.

M. Berzélius était arrivé à la même conclusion en employant le sous-nitrate de plomb pour précipiter une solution d'amidon bouillante, mêlée d'ammoniaque; seulement n'ayant poussé la dessiccation qu'à 100°, l'amylate était resté blanc et avait conservé un équivalent d'eau [1]. Enfin ce célèbre chimiste avait autrefois annoncé [2] qu'il n'était pas possible, par cette méthode, de saisir exactement le moment où il ne se forme pas d'amylate neutre de plomb ni de sous-nitrate insoluble.

J'espérais toutefois y parvenir à l'aide d'un nouveau réactif, qui me permettait l'emploi d'un excès d'ammoniaque dans les deux liquides : cette opération eut un entier succès.

PRÉPARATION DE L'AMYLATE BIBASIQUE DE PLOMB.

On chauffe à 100°, en agitant 10 grammes de fécule pure dans 1,200 grammes d'eau; le liquide filtré est porté à l'ébullition et l'on y ajoute 20 centimètres cubes d'ammoniaque préalablement étendue dans 40 centimètres cubes d'eau. On verse alors en agitant le tout dans l'acétate de plomb ammoniacal en excès dissous et limpide.

On prépare cette solution en ajoutant 5 grammes d'ammoniaque à la solution bouillie de 30 grammes d'acétate de plomb neutre dans 200 grammes d'eau, ce qui donne lieu dans le liquide à la réaction suivante :

3 at. acétate neutre cristallisé	7125,0	1 at. acétate tribasique	4939
3 at. ammoniaque absolue	643,5	2 at. acétate ammoniaq.	1715
		1 at. ammoniaque	214,5
		8 at. eau	900
	7768,5		7768,5

[1] En sorte que la formule adoptée en dernier lieu par M. Berzélius et M. Liebig est 1 ou 2 PbO, $C^{24} H^{20} O^{10}$ exactement équivalente à 1 ou 2 PbO, $C^{24} H^{18} O^{9} + H^{2}O$.

[2] *Anciennes Annales de chimie*, t. XCV.

L'acétate d'ammoniaque rend stable l'acétate tribasique, malgré l'excès d'ammoniaque; et la présence de cette base dans les deux solutions empêche la formation de l'acétate neutre ou de l'acétate sesqui-basique, que l'amidon ne décomposerait pas. Le précipité d'amylate de plomb se dépose; on décante, et on remplace par une égale quantité d'eau bouillante. On répète quatre fois ces lavages, toujours en vases clos; on recueille le dépôt sur un filtre lavé à l'eau bouillante; on remplit quatre fois successivement le filtre d'eau bouillante, aussitôt que la plus grande partie du liquide est égouttée, mais sans attendre que l'amylate ait pris un retrait qui le ferait fendiller; on doit laisser les filtrations s'opérer sous une cloche où l'air soit privé d'acide carbonique, par la potasse ou la soude.

Après la dernière addition d'eau, on laisse égoutter pendant deux à trois heures; on enveloppe le filtre dans six doubles de papier non collé; on commence la dessiccation dans le vide, au-dessus de la potasse sèche; on l'achève à + 180°, avec les précautions ordinaires, mais surtout après avoir réduit la matière en poudre impalpable. L'amylate de plomb donne alors constamment, soit par la combustion, soit par l'analyse élémentaire, la composition représentée par C^{24}, H^{18}, O^{9}, 2PbO.

Voici les résultats de l'analyse de l'amylate bibasique de plomb :

H.....	21,55		
O.....	172,45	372,8	= 90,90
C.....	178,8		
2PbO.....	536,2		

Ces nombres comparés à ceux de la formule donnent :

		Calcul.	Expérience.
C.....	918,24	19,45	19,66
H.....	112,5	2,38	2,37
O.....	900,0	19,17	19,07
2PbO.....	2789,0	59,0	58,90
	4719,74	100,00	100,00

On prépare de la même manière le dextrinate bibasique de plomb, sauf une moindre proportion d'eau, pour dissoudre la dextrine; le produit est plus constant et plus aisément obtenu que par les autre moyens.

M. Berzélius, dans une lettre du 7 mai dernier, fit savoir à l'Académie des sciences de Paris que, tous mes résultats ayant été vérifiés par un chimiste allemand très-exercé, et trouvés exacts, il ne conservait de doute que relativement au dernier atome d'eau enlevé à l'amidon comme à la dextrine.

M. Dumas vérifia bientôt après ses analyses du dextrinate de plomb; de mon côté, les expériences annoncées par M. Berzélius me conduisirent à exécuter de nouvelles analyses, dont voici les résultats (le poids du carbone étant 37,2) :

		EXPÉRIENCES				MOYENNE.
		1re.	2e.	3e.	4e.	
Amylate de plomb employé		1,025	0,907	0,894	0,988	
Amylate de plomb obtenu	Oxyde	0,649	0,528	0,536	0,630	
	Carbone	0,178	0,180	0,167	0,178	
	Eau	0,198	0,199	0,191	0,180	
Équivalents en centièmes de la matière organique	Carbone	47,34	47,49	46,64	47,48	47,23
	Hydrogène	5,85	5,83	5,89	5,83	5,85
	Oxygène	46,81	46,68	47,47	46,69	46,91
		100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

La matière employée dans la première analyse avait été obtenue de la fécule pure, traitée par cent fois son poids d'eau bouillante, puis combinée intégralement avec l'oxyde de plomb, sans rien séparer préalablement par le filtre.

Les trois analyses suivantes furent faites sur deux autres amylates préparés avec une solution d'amidon filtré.

La température de la dessiccation pour la première expérience fut égale à 135° pendant trois heures dans le vide sec; pour les essais suivants, on porta la température à + 170°; enfin les première et troisième analyses ont été faites par M. Schmershall et moi, la deuxième par M. Schmersahll seul, et la quatrième par moi seul.

Les nombres suivants prouvent que la formule $C^{24}H^{18}O^{9}$ s'accorde bien avec la moyenne et chacune des analyses; ils confirment les résultats précédents [1].

			Calculé.	Trouvé.	
C^{24}	918,2		47,52	47,23	
H^{18}	112,3	ou	5,83	5,85	= 100
O^{9}	900,0		46,65	46,91	

POIDS SPÉCIFIQUE DE L'AMIDON.

La détermination exacte du poids de l'amidon, comparé à celui de l'eau sous le même volume, présentait d'assez grandes difficultés, en raison surtout de l'hydratabilité de la substance et de l'adhérence de l'air interposé. Voici comment je suis parvenu dernièrement à l'obtenir, en opérant sur de la fécule de pomme de terre épurée et préalablement desséchée dans le vide sec, à la température de 120°, soutenue pendant six heures.

Dans un petit ballon à col étroit, taré, j'introduisis, jusqu'à la moitié environ de sa capacité, de l'huile de moelle filtrée, débarrassée d'eau et de gaz, dans le vide à 100°; la fécule fut alors ajouté peu à peu, en agitant sans cesse, afin de bien imprégner tous ses grains. On soumit alors ce mélange dans le vide à

[1] Nous avons fait observer, plus haut, qu'en employant le chlorate de potasse et le nouvel appareil (voyez *Annales de chimie*, t. I, 3e série, p. 54), la plus forte proportion de carbone obtenue laisse la même formule, en admettant, pour l'équivalent du carbone, le poids = 75, actuellement adopté d'après M. Dumas.

l'action d'une température soutenue à 100°, pendant dix heures; en agitant encore de temps à autre, et jusqu'à cessation de dégagement aériforme, le ballon fut refroidi à + 19°,75, rempli d'huile jusqu'à une ligne de niveau tracée au point le plus étroit du col, pesé en cet état, puis vidé, rempli d'eau distillée exactement au même point, pesé de nouveau. On peut ainsi comparer le poids du volume de fécule avec des volumes égaux d'huile déplacée, puis celle-ci avec le même volume d'eau, enfin rapporter à ce dernier le poids de la fécule.

Voici les nombres de l'une de ces expériences, qui, répétée trois fois, donna les mêmes résultats :

Substance employée	$12^{gr}109^{mil}$.
Huile plus fécule	34, 07
Huile occupant le volume du vase	29, 32
Huile déplacée par la fécule	29, 32 — 21,96 = 7,36
Poids de l'eau remplissant le ballon	= 32,045
Rapport de l'huile à l'eau	29,32 : 32045 :: 7,36 : 8,044 :: 915 : 1000
Rapport de la densité de l'eau au poids spécifique de l'amidon	8044 : 12109 :: 1000 : 1505,5

Ainsi, à volume égal, l'amidon pèse moitié plus que l'eau, ou le poids de celle-ci étant 1,000, celui de l'amidon est 1505,5, pour la température de + 19,65. Il diffère donc du poids spécifique du sucre, qui a été trouvé être de 1606,06.

Pour une température soutenue durant deux heures à 200°, l'amidon dans l'huile éprouva un commencement d'altération : des bulles de gaz se dégagèrent; sa couleur devint fauve et son poids spécifique fut porté à 1555. Cette augmentation de poids résultait surtout du dégagement des produits hydrogénés formés aux dépens d'une portion de la substance.

POIDS SPÉCIFIQUE DE LA DEXTRINE.

La dextrine pulvérisée, desséchée à + 120°, puis à + 125° dans

le vide sec, pesée alternativement dans l'air et dans l'huile, avec les précautions ci-dessus indiquées, donna les nombres suivants:

Poids de la dextrine employée	7,900
Huile, plus dextrine	32,480
Poids de l'huile contenue dans le ballon plein	29,320
Huile déplacée par la dextrine	4,740
Rapport de la densité de l'huile à celle de l'eau	474 : 5189
Rapport entre le poids de l'eau et celui de la dextrine	5189 : 79 : : 1000 : 1520

Ainsi le poids spécifique de l'amidon est à celui de la dextrine comme 1,505 est à 1,520.

Ce résultat est d'accord avec l'observation de la diminution de volume observée pendant la conversion de la fécule en dextrine, mais il se pourrait bien que l'un et l'autre effet dépendissent d'un simple resserrement mécanique qui aurait complété l'expulsion des dernières traces d'air interposées.

TERMES D'HYDRATATION DE LA DEXTRINE.

Afin d'obtenir sur la dextrine des influences égales à celles exercées sur l'amidon, j'employai dans cette série d'essais de la fécule convertie en dextrine sans déformation. Restée ainsi en grains, on ne put constater de terme précis d'hydratation dans l'air saturé d'humidité, parce qu'elle fut liquéfiée par l'eau absorbée; mais exposée à l'air en couches minces pendant huit à douze jours, l'hygromètre ayant marqué 0,60 à 0,68 et le thermomètre + 20 à + 14°, elle retint 4 équivalents d'eau; exposée 24 à 48 heures dans le vide sec, soutenu à + 100 comme à + 140°, elle ne retenait plus alors que l'atome constituant; ainsi tous les nombres des quatre premières lignes du tableau relatif aux degrés d'hydratation de l'amidon, s'appliquent exactement à la dextrine.

Ainsi donc, la dextrine, par sa composition élémentaire, son poids atomique et ses termes d'hydratation, comme aussi par

son action moléculaire sur la lumière polarisée, est identique avec l'amidon.

La dextrine et l'amidon offrent les mêmes relations entre leurs principes constituants et manifestent des phénomènes très-divers sous l'influence d'agents nombreux; mais ces phénomènes ne démontrent pas des propriétés inhérentes à une combinaison moléculaire; ils dépendent surtout de l'agrégation des particules.

On peut, en effet, les faire tous varier par un grand nombre de modifications qui ne changent absolument rien à la composition ni au poids atomique de la matière.

Ainsi l'amidon, toujours identique chimiquement, mais sécrété par différents végétaux ou sous des influences variables de sol et de saison, ou encore à différents âges, présente des volumes et des degrés de cohésion très-divers; soumis à de simples actions mécaniques, il produit avec l'eau, l'alcool, la potasse, la soude, la baryte, l'iode, le tanin, l'acétate de plomb, les sels neutres, etc. une foule de réactions spéciales.

Divisé plus encore par la diastase, les acides puissants ou les alcalis caustiques, agents qui diffèrent extrêmement par leur composition et leurs réactions chimiques, l'amidon produit alors graduellement plusieurs phénomènes nouveaux en rapport avec le degré de la désagrégation opérée; puis, tout à coup, sa dissolution complète semble avoir anéanti toutes ses facultés caractéristiques, on n'en obtient plus ni colorations, ni précipités, par aucun des agents employés jusque-là avec succès pour les produire.

Il semble qu'il n'y ait plus pour son nouvel état de combinaisons énergiques possibles.

Cependant, sous tant de formes, la composition intime n'a point varié, et je viens de démontrer qu'à l'aide de nouveaux efforts on obtient avec les bases des combinaisons définies semblables, d'où l'on déduit un même poids atomique.

Tel que le donne la végétation, ce principe immédiat possède

donc des formes organiques spéciales qui paraissent modifier sa densité et persistent même dans leur dissolution aqueuse[1]; leur contractilité et leur extensibilité apparaissent au contact d'une foule de réactifs.

C'est un exemple remarquable d'application des moyens qu'offrent la chimie et la physique, pour étudier un corps déjà sur la limite de l'organisation appréciable par d'autres procédés, suivre toutes les phases d'une désorganisation graduellement opérée jusqu'à sa complète dissolution, et pour en saisir même certains termes qui offrent d'utiles applications.

Je crois pouvoir encore conclure de ce genre de recherches que, tout en arrivant par des voies diverses à transformer l'amidon en dextrine et dans tous les degrés intermédiaires, jamais on ne remontera de la dextrine ou de ses congénères à l'amidon, pas plus qu'on ne parviendrait à former artificiellement une seule utricule, un tissu organisé, un organe quelconque de la reproduction végétale.

DÉFINITION DE LA NATURE CHIMIQUE DE L'AMIDON ET DE LA DEXTRINE.

Considéré sous les rapports chimiques, l'amidon pur à l'état normal, tel qu'on peut l'extraire des plantes, est un principe immédiat.

C'est un principe immédiat aux mêmes titres que le ligneux, que la substance des cellules végétales[2].

Pour être appelés à jouer le plus directement possible ce rôle important dans la constitution des plantes et des animaux, les

[1] Cette dissolution filtrée se trouble au bout de quelque temps, et laisse peu à peu précipiter la substance encore membraniforme; mais alors, sans doute, ses particules sont disposées dans un autre ordre, car ni le liquide, ni le précipité ne reproduisent la belle coloration bleue avec l'iode.

[2] Des recherches chimiques, que je dois multiplier avant de présenter leurs résultats, me portent à penser que la substance des premières formations cellulaires diffère du ligneux, et que le gluten ne constitue pas un tissu dans le périsperme du blé, mais bien un dépôt de matière azotée qui, dissous ultérieurement par un agent spécial, favorisera les premiers développements de la plantule.

principes immédiats ne doivent-ils pas remplir les conditions suivantes : être à l'abri des changements spontanés, par conséquent incristallisables et garantis contre la tendance de s'engager dans des combinaisons cristallines, propension si commune aux corps inorganisés?

Leurs particules ne sont-elles pas douées d'une prédisposition à s'agréger entre elles sous des formes en quelque sorte membraneuses?

Après les nombreuses expériences que nous venons de décrire, on ne saurait nier que la substance amylacée membraniforme, à l'état libre ou combinée, ne réunît ces conditions; que de plus, roulée en globules par couches concentriques, elle ne fût assez stable pour se conserver longtemps et assez peu attaquable pour se tenir en réserve, prête à céder ses particules aux agents des développements ultérieurs des organes végétaux.

Si la substance propre de divers tissus a paru jusqu'ici d'une nature plus complexe, ne serait-ce pas qu'il resterait à éliminer du principe immédiat formant chaque enveloppe les corps étrangers à sa constitution, sécrétés, excrétés ou enveloppés par elle?

DEXTRINE.

L'amidon, qui offre une constitution moléculaire identique avec celle de la dextrine, diffère cependant par l'arrangement de ses particules, c'est-à-dire de ses groupes moléculaires. Cette agrégation est remarquable par les phénomènes physiques curieux, qu'on doit lui attribuer, et non-seulement en raison de la variété que sa désagrégation introduit graduellement dans ces phénomènes, mais encore et surtout, elle est digne du plus haut intérêt par la singulière propriété que cet arrangement spécial lui donne, d'entrer en combinaison avec l'iode, combinaison qui partout signale sa présence et ses moindres altérations, mais qui est insuffisante pour la prouver.

Un tel pouvoir, inhérent aux rapports de présence entre les

groupes de particules, qui la modifie lorsqu'on trouble ces rapports, qui disparaît lorsqu'on les détruit; ce pouvoir remarquable établit entre la dextrine si complétement soluble, et l'amidon insoluble directement, une isomérie spéciale bien caractérisée, qui existe avec une identité de composition et de diverses réactions moléculaires évidemment incontestables.

INULINE COMPARÉE AVEC L'AMIDON.

Propriétés nouvelles, composition et transformation isomérique.

Ce principe immédiat, trouvé d'abord dans la racine de l'*inula helenium*, par M. Rose; puis par MM. Pelletier, Caventou et Gauthier, dans les racines de colchique et de pyrèthre, constitue, comme je l'ai démontré, la plus grande partie de la substance solide des topinambours et des dahlias, tubercules qui, d'ailleurs, ne renferment pas d'amidon. Certaines analogies remarquables entre ce dernier corps et l'inuline ayant porté quelques observateurs à douter que ces deux substances fussent réellement différentes, il m'a semblé utile de chercher à établir entre elles une véritable identité, ou des différences caractéristiques qui ne permissent plus de la confondre. Voici les principaux résultats des expériences entreprises dans cette vue.

L'inuline dissoute dans l'eau, à la température de 100°, se dépose, après le refroidissement, en un précipité qui, vu au microscope, se compose de sphérules incolores diaphanes, parfois adhérentes entre elles et réunies en chapelets. Si l'on a opéré la dissolution en vases clos à une température plus élevée que l'eau bouillante, la précipitation a lieu plus lentement, et forme de plus gros globules: c'est ainsi qu'un tube contenant le mélange d'eau et d'inuline, porté dans un bain d'huile à + 170°, pendant dix minutes, conserva longtemps la dissolution d'inuline diaphane; au bout de trois mois, le dépôt, graduellement augmenté, formait des plaques translucides sur les parois, et cette couche continue montra, sous le microscope, de petits sphéroïdes adhérant les

uns aux autres; ils avaient la plupart environ 3 centièmes de millimètre de diamètre, se détachaient en séries linéaires sur les bords du dépôt; presque tous étaient recouverts de très-petits globules semblables. Tous ces corps isolés ou réunis étaient peu consistants, fragiles, se brisant en éclats anguleux sous une légère pression.

L'inuline, exposée à sec dans un tube plongé dans un bain d'huile à + 168°, éprouva une fusion complète sans coloration sensible, pourvu que la réaction ne fût pas prolongée et n'eût lieu que sur une quantité peu considérable.

L'inuline était alors devenue soluble dans l'eau froide et même dans l'alcool; il me parut curieux de comparer la composition de l'inuline sous ces deux états. Voici les résultats des analyses :

		INULINE normale séchée à 105°.	INULINE fondue à + 168°.
Substance employée		221^{m}	519^{m}
Acide carbonique		358	840
Eau		120	291
D'où l'on tire la composition élémentaire	Carbone	44,55	44,6
	Hydrogène	6,12	6,2
	Oxygène	49,33	49,2
		100	100

On voit que, sous les deux états, l'inuline a la même composition élémentaire, et c'est encore la composition de l'amidon et de la dextrine; on peut conclure de là que l'amidon, la dextrine, l'inuline normale et l'inuline fondue présentent quatre substances isomériques.

Plusieurs propriétés remarquables caractérisent encore l'inuline, la distinguent de l'amidon, et offrent des moyens de sépa-

ration entre ces deux principes immédiats. L'inuline, non-seulement est rendue soluble et transformée en glucose par les acides sulfurique, phosphorique, etc. mais elle éprouve même cette altération à l'aide de la chaleur, sous l'influence de l'acide acétique, qui n'attaque pas sensiblement l'amidon dans des circonstances semblables; d'un autre côté, la diastase, qui agit si énergiquement sur l'amidon, n'altère pas l'inuline, et lui laisse la propriété d'être précipitée spontanément d'une solution aqueuse peu étendue, faite à chaud, puis refroidie.

Ainsi, d'un mélange d'amidon et d'inuline, on peut, à volonté, éliminer l'inuline, que l'on fait dissoudre par l'acide acétique ou l'amidon rendu soluble par l'eau et la diastase[1].

POINT DE VUE PHYSIOLOGIQUE.

ÉTUDE DE L'AMIDON DANS SES DÉVELOPPEMENTS VARIÉS ET SES RAPPORTS AVEC LA GERMINATION ET LA NUTRITION DES PLANTES.

ORGANES QUI CONTIENNENT DE L'AMIDON, TISSUS QUI EN SONT DÉPOURVUS; INFLUENCE DE LA LUMIÈRE SUR LA SÉCRÉTION DE CE PRINCIPE IMMÉDIAT.

Tous les organes d'un grand nombre de plantes peuvent, dans des circonstances favorables, sécréter la substance amylacée, et plus tard la dissoudre pour la laisser concourir alors à la nutrition végétale.

Cependant on ne rencontre jamais l'amidon dans les tissus qui sont à l'état rudimentaire; ceux-ci ne recèlent encore que les principes immédiats indispensables à leurs premiers développements, principes que j'ai depuis longtemps démontrés être alors constam-

[1] En s'unissant aux bases, l'inuline présente des phénomènes caractéristiques à étudier; c'est ainsi que, dissoute et versée dans une dissolution de baryte, elle donne un précipité blanc, opaque, volumineux, susceptible d'être redissous par une addition d'inuline.

ment réunis : les uns très-riches en azote, les autres non azotés.

Ainsi, les spongioles des radicelles, les plus jeunes rudiments des bourgeons foliacés et fructifères, l'intérieur des ovules non fécondés et sans aucune exception, toute l'organisation naissante est dépourvu de fécule amylacée.

Cela se conçoit, car celle-ci représente un excès de principe assimilable, sécrété et mis en réserve seulement après que les organes ont atteint un certain développement.

Je n'ai pas rencontré non plus d'amidon dans les vaisseaux ni dans les méats intercellulaires; c'est qu'il n'y peut passer sans doute qu'après une transformation qui, le rendant soluble, lui ôte ses caractères distinctifs.

L'amidon ne se trouve pas dans l'épiderme, et manque presque toujours dans les premières cellules des tissus sous-jacents. Cela dérive, je crois, d'une loi générale de sa formation : en effet, soit qu'une vitalité plus grande ou qu'une assimilation plus efficace, par les agents aériens, ait lieu dans les points rapprochés de l'air et de la lumière, l'amidon est exclu de ces parties jusqu'à une certaine profondeur, passé laquelle les grains commencent à se montrer, puis augmentent en nombre comme en volume dans les cellules de plus en plus éloignées de la superficie jusqu'à certaines limites; il en est de même des organes foliacés qui, sous la terre, sont parfois abondants en fécule, les écailles de divers bulbes, par exemple, tandis qu'ils en contiennent peu ou point s'ils sont exposés à l'air ou à la lumière.

Nous allons citer quelques faits à l'appui de ces assertions.

Si l'on coupe une tranche très-mince d'un rhizome de *canna discolor* par un plan perpendiculaire à l'axe, et que l'on examine successivement, sous le microscope, toutes les parties du tissu, depuis la couche extérieure jusqu'au centre, on ne trouve aucun grain de fécule ni dans l'épiderme, ni dans les cellules contiguës, ni dans celles qui suivent, jusqu'à une profondeur de 8 à 10. Dans les cellules suivantes, les grains d'amidon, d'abord rares et très-petits, se montrent graduellement plus gros et atteignent au

plus 5 centièmes de millimètre; mais ce n'est qu'au delà du premier cercle de vaisseaux que les grains, augmentant plus rapidement de volume dans les grandes cellules, atteignent leur développement, c'est-à-dire 15 centièmes de millimètre : ce sont du moins les résultats micrométriques de mes observations sur les rhizomes les plus développés que j'ai pu me procurer au Jardin du roi, ainsi que sur ceux du *canna gigantea* et du *maranta arundinacea;* ils s'accordent avec les essais que j'avais faits précédemment pour la Société centrale d'agriculture, sur la fécule du *canna discolor* envoyée de Montpellier par M. Farel.

Dans les tubercules de l'*orchis latifolia*, les plus fortes dimensions des grains de fécule se remarquent dans le centre, tandis qu'ils sont d'autant plus petits dans les cellules qui se rapprochent de l'épiderme.

Toutes les variétés de pommes de terre sont dépourvues de fécule dans leur épiderme et dans leur tissu herbacé sous-jacent (médule externe); la grosseur et le nombre de grains augmentent à partir de là jusqu'au cercle des fibres vasculaires qui entourent la moelle; dans celle-ci, les proportions d'amidon sont moindres en général vers le centre.

Les mêmes résultats dans les parties semblables s'observent relativement aux tubercules du *tropæolum tuberosum*.

En général, toutes ces plantes ne présentent que très-peu ou pas de fécule dans les portions de leurs tiges qui s'élèvent au-dessus du sol; toutes les tiges du cactus, sous leurs diverses formes, présentent les grains de fécule plus volumineux et en plus grand nombre dans le tissu médullaire ou les parties voisines. On n'en trouve pas de traces près de l'épiderme ni jusqu'à une certaine profondeur de la partie corticale.

PREMIERS DÉVELOPPEMENTS DES FÉCULES, CAUSES DE LEURS RUPTURES SPONTANÉES, DE LEURS CONFORMATIONS VARIÉES ET D'UNE APPARENCE DE TÉGUMENT.

Il résulte de l'ensemble des propriétés physiques et chimiques des grains d'amidon à différents âges et des parties inégalement

agrégées de chacun d'eux, que le principe immédiat dont ils se composent est d'abord sphéroïdal, comme tout corps fluide laissé à la propre attraction de ses parties intégrantes; il absorbe généralement par un seul point, quelquefois par deux, rarement par trois, la substance amylacée.

Celle-ci s'accumule dans l'intérieur, presse contre les premières parties agrégées, les gonfle, puis est pressée à son tour par une nouvelle quantité de matière qui, bientôt encore, reçoit et transmet la pression d'un autre flot de la sécrétion.

Ce gonflement successif produit les couches concentriques observées; il continue tant que les circonstances extérieures laissent une souplesse suffisante aux premières couches qui enveloppent les autres.

C'est ainsi que, dans les parties aqueuses d'une même plante, se trouvent des grains d'amidon, d'autant plus volumineux d'ailleurs, que leur développement s'est prolongé davantage au milieu d'un suc plus aqueux.

Les rhizomes des cannées, les tubercules des pommes de terre, etc. dans les terrains humides, offrent les maxima de dimensions des fécules; tandis que les tiges du *ginkgo biloba*, et de l'*aylanthus glandulosa*, les fruits de plusieurs graminées, les graines de diverses légumineuses, des chenopodées, et une foule d'autres, laissent plus promptement l'amidon privé d'eau et arrêtent sa croissance.

Lorsque le développement des grains amylacés est considérable, les premières couches formées, ayant perdu leur souplesse, ne cèdent à la pression interne des dernières parties sécrétées, qu'en éprouvant des ruptures, et celles-ci partent généralement du hile où les parois amincies opposent le moins de résistance.

Quant aux formes extérieures accidentelles, elles dépendent évidemment d'une sorte de moulage sur les obstacles que rencontrent les grains amylacés dans le milieu où ils se gonflent.

C'est ainsi que dans le fluide rempli de flocons de matière azotée, où se forme et s'accroît l'amidon des fèves, haricots et pois,

l'inégale résistance et la viscosité du milieu déterminent ces surfaces ondulées et creusées en sillons, et ces contours sinueux des projections qui caractérisent les grains amylacés de ces légumineuses; d'autres particularités remarquables dans les formes des fécules nécessitent le concours d'une autre cause que nous allons exposer.

APPARENCE TÉGUMENTAIRE ET DIFFÉRENCES DE COHÉSION DANS LES GRAINS DE FÉCULE.

Sur toutes les fécules, la couche superficielle, ayant plus de cohésion, résiste le plus aux divers agents de dissolution; cette couche est souvent rendue plus difficilement attaquable encore par l'adhérence de plusieurs corps étrangers insolubles, tels que l'albumine végétale, les sels calcaires, une matière oléiforme fixe et une huile essentielle. De là cette apparence trompeuse d'un tégument propre qui, disait-on, offrait une composition distincte. La moindre consistance des couches internes dans les fécules explique les diverses réactions qui parfois déterminent une partie de la substance à sortir et former hernie au dehors: c'est ce qui arrive si l'on met en contact avec de jeunes grains une solution de soude trop faible pour attaquer la couche externe, mais qui, s'introduisant dans le hile, gonfle et force la matière intérieure à sortir (pl. IV, fig. 19).

CONFORMATION POLYÉDRIQUE ET AGGLOMÉRATION DES GRAINS DE FÉCULE.

Les formes polyédriques de la fécule du *cycas circinalis* me parurent plus remarquables que celles des autres fécules, soit parce qu'elles appartenaient à la plupart des grains, et qu'une moitié seulement du volume de chacun d'eux était ainsi polyédrique, l'autre moitié ayant conservé sensiblement la forme d'un sphéroïde.

Quelle pouvait être la cause de ce moulage partiel? J'essayai de la découvrir en observant, non plus la fécule extraite à part, ni même

les cellules aplaties entre les lames du porte-objet, mais bien des tranches très-minces de la moelle du sagouier placées, sans pression et sans frottement, dans l'eau, entre deux lames de verre.

Il me fut possible alors de voir la fécule généralement réunie en petites agglomérations de deux, trois, quatre, six ou sept grains (cases 5 et 6, planche IV); la portion engagée dans l'agglomération avait seule les formes polyédriques qui remplissaient les vides qu'eussent laissés des sphéroïdes entre eux, tandis que la portion libre, restée en dehors de l'agglomération, avait continué ses développements sous formes arrondies: on voyait distinctement aussi, comme le montrent les figures des cases 5 et 6, le hile marqué sur cette partie externe, et les lignes circulaires d'accroissement disposées concentriquement autour de lui; une faible pression et un léger frottement suffisaient pour séparer tous ces grains les uns des autres, et les montrer alors isolés comme dans les figures de la case 5, planche IV.

L'explication des formes polyédriques que prennent les fécules lorsqu'elles sont pressées de toute part comme dans les parties cornées du maïs, cette explication, dis-je, ne présente aucune difficulté, maintenant que la constitution intime et le mode de développement sont démontrés; on voit bien que les couches externes, assez souples et extensibles pour se gonfler, en cédant à la force intérieure que produit un accroissement graduel de volume, doivent céder aussi à la pression extérieure des autres grains qu'elle rencontre; qu'alors, pour remplir l'espace libre, les grains arrondis doivent présenter bientôt des surfaces planes, et acquérir peu à peu des formes polyédriques; qu'alors enfin la transparence de la masse résulte de l'expulsion des substances interposées de densités si différentes (les gaz surtout); la forte adhérence tient à la nature cohésive même de la substance amylacée.

Mais comment se fait-il que, sans être fortement pressés entre eux, les grains de fécule acquièrent habituellement, dans certaines plantes, une ou plusieurs faces planes, tandis que d'autres fécules,

même plus abondantes dans chaque cellule, conservent des contours arrondis?

Les circonstances de la végétation des plantes d'où provenaient ces fécules me portèrent à croire que l'abondance de l'eau interposée avait, pour les unes, prévenu presque toute attraction énergique, tandis que, pour les autres, une proportion moindre de ce liquide avait permis à la substance amylacée de contracter de nombreuses adhérences.

Cette hypothèse s'appuyait d'abord sur l'observation directe de l'adhérence remarquable entre les grains de la fécule contenant 10 atomes d'eau sans qu'il y en eût aucun excès interposé. (V. les différents termes d'hydratation p. 253.)

Les mêmes vues furent d'abord justifiées par l'examen comparatif des fécules durant leur croissance.

Les plus jeunes, en effet, se rapprochaient des formes globuleuses, tandis que, devenues plus âgées et plus volumineuses en même temps que l'eau et l'espace ambiant diminuaient, elles avaient contracté entre elles quelques adhérences qui rendaient plane une portion de leur superficie.

Les jeunes périspermes de maïs, par exemple, ne contiennent en général que des grains de fécule globuleux; bien que, près de l'état de maturité, presque tous ces fruits offrent une grande partie de la masse du périsperme à l'état corné demi-translucide, résultant de la configuration polyédrique et de la juxtaposition des grains de fécule.

Une preuve plus démonstrative encore m'a paru devoir être le résultat d'une modification déterminée dans les formes de la fécule, en changeant à dessein les circonstances de la végétation.

AGGLOMÉRATION DES GRAINS DE FÉCULE PRODUITE À VOLONTÉ PENDANT LA VÉGÉTATION.

Voici comment je réunis les circonstances favorables à la modification projetée des formes de la fécule dans les pommes de terre.

Je laissai *germer* et pousser ces tubercules à l'air depuis les premiers jours d'avril jusqu'au 20 août, dans un laboratoire où le thermomètre varia de + 12 à 20° centésimaux; l'hygromètre marquant, de 0, 45 à 0, 70.

Les tiges ainsi toutes aériennes portaient des renflements, à la partie inférieure desquels naissaient des mamelons radicellaires blanchâtres tandis que les parties supérieures se garnirent de petites feuilles vertes.

Dans les renflements, se rencontrèrent parmi de nombreux grains globuliformes de fécule plusieurs groupes de 2, 3, 4 et même 5 grains, qui par leur adhérence étaient devenus polyédriques sur les points en contact.

Ces réunions étaient plus nombreuses parmi les grains formés en dernier lieu, par conséquent sous l'influence des moindres proportions d'eau.

Un assez grand nombre des grains plus volumineux étaient doubles (pl. IV, fig. 19); séparés par pression et frottement, ils se présentaient sous les formes de sphéroïdes ou d'ellipsoïdes tronqués.

RAPPORT ENTRE LES PAROIS DES CELLULES ET LE HILE DES GRAINS D'AMIDON.

Nous avons vu qu'à l'aide de nouveaux moyens d'investigation on démontre la présence d'un hile dans des fécules qui jusqu'ici avaient paru n'en pas avoir; on peut donc admettre qu'il existe pour toutes, et qu'il joue un rôle dans la formation ou dans l'accroissement des grains amylacés.

Mais résulte-t-il d'un point d'attache permanent aux parois intérieures de la cellule, ou bien montre-t-il seulement l'orifice du conduit par lequel l'accroissement s'est opéré par intus-susception?

En démontrant la difficulté dans certains cas, l'impossibilité même de justifier la première hypothèse, nous serons portés à faire prévaloir la seconde.

Dans un grand nombre de cellules des variétés de pomme de terre riches en fécule, dans celles des rhizomes également abondants en substance amylacée du *canna discolor,* les globules d'amidon qui se développent sont en quantité telle, qu'il paraît impossible que tous restent en rapport avec la paroi interne de la cellule.

Le maintien à distance d'une partie des grains semble plus évident encore dans les cellules où ils sont tellement pressés les uns contre les autres, que toute leur périphérie est déprimée en facettes fortement adhérentes aux facettes des autres grains en contact; lorsqu'enfin, tous sont polyédriques comme le montre la figure 20, planche IV, relativement aux parties cornées du périsperme du maïs, ils sont là tellement enchâssés, qu'évidemment leurs derniers développements ont été acquis en place, par conséquent à distance des parois, pour beaucoup d'entre-eux. Les mêmes phénomènes s'observent dans la masse féculente du périsperme des fruits de plusieurs graminées. (Voyez fig. 27, pl. IV, représentant l'amidon du *panicum italicum.*

Nous avons vu un autre exemple curieux de ces développements hors du contact des parois cellulaires, manifesté durant la croissance des groupes de grains amylacés dans les cellules de la moelle du sagouier. Ces groupes nombreux, beaucoup plus petits que la cellule, ne peuvent toucher celle-ci que par deux ou trois des points correspondants à leurs hiles, sur six ou sept que parfois ils présentent.

Enfin une altération spéciale (pl. III, case 9) qui, durant la germination des céréales et les arrêts de la végétation des pommes de terre, laisse désagréger les grains d'amidon, puis réagréger en globules leur substance, me semble venir à l'appui des conclusions qui précèdent.

DÉTERMINATION DE LA NATURE DE L'AMIDON DES POLLENS.

Nous avons vu que l'iode est un réactif insuffisant de la substance amylacée : il fallait donc y combiner les autres moyens

d'investigation pour démontrer la nature des granules bleuissables dans les grains de plusieurs pollens. C'est ce que je me suis empressé de faire, à la demande de M. de Jussieu.

Pollen de *globba nutans*. — Les figures case 7, *c*, *c'*, *c''*, *d*, planche VIII, montrent les grains de ce pollen : une moitié est colorée par l'iode, savoir : la membrane *végétale* externe en jaune orangé, la membrane interne en fauve ou violet, suivant qu'elle contient la fovilla seule ou mêlée d'amidon ; les plus petits grains de ce pollen sont dans le premier cas (fig. *c*), tandis que les plus gros sont en partie (fig. *c'*) pleins de granules amylacés et de fovilla ou complétement remplis de ce mélange (voyez fig. *c''*). Ces derniers, mis dans l'eau, laissent échapper les deux matières quand ils font explosion : on voit en effet (fig. *d*, *a*, *b*) un grain de pollen qui a lancé au dehors la fovilla mucilagineuse formant des globes tourbillonnants, et disséminant ses grains d'amidon dont on voit une moitié bleuie par l'iode.

Un autre grain de pollen est vu, en *e*, case 8, teint par l'iode; en le mouillant par une solution de soude à 0,01, l'enveloppe interne, vivement gonflée, brise l'enveloppe externe, l'abandonne sous l'une des formes *f'*, et puis, continuant à être gonflée par l'augmentation de volume des granules d'amidon, passe de la forme *a*, *b* à la forme *b'*, *b''*; celle-ci laisse bientôt apercevoir les granules amylacés beaucoup plus volumineux, affaissés suivant une ligne médiane; une partie de ces grains gonflés et affaissés peuvent encore être bleuis par l'iode. (Voyez fig. *b'*.)

Les grains du pollen, moins volumineux, se dépouillent aussi de leur première enveloppe par la soude, mais ordinairement restent sphéroïdes sans se désagréger, sans doute parce qu'ils contiennent peu ou point de granules d'amidon.

Il fallait, pour démontrer complétement la nature amylacée de ces granules, réunir d'autres observations ; les voici : ils offrent avec l'eau, sous diverses températures, les phénomènes d'extension et de contraction ; chauffés graduellement avec l'acide sulfurique étendu, leur substance, peu à peu dissoute, a présenté,

par l'iode et les autres réactifs, tous les caractères de la désagrégation successive de l'amidon.

Traitée au bain-marie avec la diastase, elle donne de la dextrine de plus en plus dissoluble, puis se convertit en glucose.

Des observations semblables caractérisent l'amidon des pollens de *naïas major* et *ruppia maritima;* celui-ci contient aussi des proportions variables de fécule (voyez case 1, pl. VIII). *a*, *a'*, pollen normal vu dans l'eau sans pression; *d*, *d'*, *e*, pollen pressé, montrant les granules d'amidon ; *b*, *c*, ceux-ci vus en dehors; *f*, *f'*, grains de pollen dans une solution de soude à 0,01, faisant explosion et lançant au dehors les granules d'amidon gonflés; case 2, pollen de *naïas major* contenant plus ou moins d'amidon réuni en paquets dans la fovilla; on voit en *c* des granules isolés sortis de ce pollen. La case 3 montre les mêmes granules gonflés par la solution alcaline; la case 5 contient les grains d'amidon des graines de *naïas* à demi développées; la case 4, le même amidon des graines mûres, et la case 6, ce dernier gonflé par la soude.

DISSOLUTION SPONTANÉE ET PASSAGE DE LA SUBSTANCE AMYLACÉE D'UN TISSU DANS UN AUTRE.

Planche III, figures 5, on voit les grains de fécule d'une pomme de terre poussée. Les premières enveloppes de ces grains, ayant été dissoutes, laissent voir les formes irrégulières et allongées des parties sous-jacentes intérieurement moulées.

Les figures 6 montrent ces grains chauffés à une température de 180° dans le vide.

Les figures 7 indiquent l'action de guttules d'eau sur la superficie de ces grains préalablement chauffés à + 200°.

Enfin, figures 8, l'action d'un excès d'eau, puis de l'iode, prouve que l'exfoliation de ces grains se fait comme dans les diverses fécules normales.

Des effets semblables de dissolution des couches externes sont indiqués, planches IV, par les figures 1, *c*, *f*, *g*, pour la

fécule du *canna discolor*, et par les figures *e*, *f*, *g*, case 2, relativement à la fécule du *maranta arundinacea*. Une simple pression sépare plusieurs tuniques de ces fécules en voie de désagrégation (Voyez les figures *g*).

Ce sont des effets curieux de leur dissolution graduelle : sans cette altération spéciale, effectuée par l'eau et la diastase, les fécules ne pourraient traverser les parois cellulaires qui retiendraient même leurs plus petits granules.

On voit que les couches externes s'exfolient successivement, se désagrègent et se dissolvent (en dextrine et glucose); les parties restantes diminuent de volume, et présentent la matière interne avec les différentes formes que leur avait imprimées leur moulage contre les parois des parties plus anciennement formées.

Ces phénomènes se passent dans les vielles écailles des bulbes de lis, de jacinthe; dans les plus anciens rhizomes des cannées, dans les pommes de terre en cours de leur végétation reproductive, jusques à l'époque où toutes ces parties sont entièrement épuisées de fécule.

L'amidon, très-abondant dans les jeunes gousses des pois, des haricots et des fèves, alors qu'il n'en existe pas encore dans les ovules, passe graduellement dans ceux-ci, où la presque totalité se rassemble en définitive dans les cotylédons de la graine.

Le passage entre les tissus se fait parfois plus rapidement encore, durant la croissance d'une seule plante annuelle : on peut la suivre, à l'aide des réactions précitées, dans toutes les parties qui supportent et enveloppent les épis et les fruits du maïs.

Ainsi les pédoncules de ces épis, tous les feuillets de leur spathe, les supports des fruits, les téguments de ceux-ci, contiennent et se transmettent de proche en proche l'amidon réagrégé successivement en granules, gros de 1 à 2 millièmes de millimètre au plus, avant que l'amidon n'arrive dans le périsperme, où il doit s'accumuler, à l'abri, seulement alors, des transformations en dextrine et en sucre, changements qui ne commenceront qu'à l'époque où la germination, renouvelant les mêmes circonstances,

puisera dans le périsperme les matériaux d'une alimentation nouvelle.

APPLICATIONS DES DONNÉES PRÉCÉDENTES; PRINCIPAUX USAGES DES FÉCULES ET DES PRODUITS DE LEURS TRANSFORMATIONS.

Formes et dimensions.

Les caractères spéciaux de certaines fécules usuelles peuvent les faire distinguer : ainsi on voit que, bien établis, ils ne permettraient plus, par exemple, de confondre la fécule commerciale du *maranta arundinacea* (arrow-root), case 2, planche IV, avec celle des batates, figures 14, 15, 16, même planche, ni avec celle des pommes de terre, planches I et II, case 1.

La forme discoïde ou en bouclier de l'amidon des blés, et ses dimensions (pl. IV, cases 7 et 8), expliquent comment, à épaisseur égale, cet amidon, offrant plus de grains entrecroisés et d'air interposé, offre aussi plus de blancheur et d'opacité que la plupart des autres fécules.

Différents termes d'hydratation.

Les proportions d'eau si considérables et bien définies, que l'amidon retient (voyez p. 253) dans des circonstances déterminées, peuvent expliquer, me semble-t-il, l'utilité de ce principe immédiat dans les pollens de plusieurs plantes aquatiques.

On doit avoir égard à cette remarquable faculté dans toutes les transactions si nombreuses entre les producteurs et les consommateurs de fécule : ce produit commercial devrait toujours être titré à l'état sec.

L'hydratation à 10 équivalents d'eau donnant à l'amidon la propriété de s'agglutiner entre + 60 et 100°, il importe d'éviter de l'exposer à ces températures dans les séchoirs, avant qu'il ait perdu plusieurs équivalents d'eau. Cette observation s'applique aux diverses fécules, aux grains germés, aux farines humides, etc.

Les conditions d'hydratation durant la *maturation* des fécules

influent beaucoup sur leur cohésion et leur résistance à tous les agents : c'est ainsi que l'amidon de pois mûrs reste intact et insoluble chauffé à sec jusqu'à + 205 degrés, tandis que la fécule des tubercules aqueux devient soluble ou désagrégeable à la température de 170 à 200°.

PRODUITS DES POMMES DE TERRE EN FÉCULE.

Les pommes de terre, qui donnent actuellement les quantités chaque année plus considérables de la fécule que l'agriculture fournit au commerce et à l'industrie, diffèrent beaucoup suivant les terrains ou les variétés, et doivent engager les cultivateurs et les manufacturiers à s'assurer des faits relatifs à cette production.

Parmi le grand nombre d'essais que j'ai faits à cet égard, je citerai seulement les derniers, dont m'avait chargé la Société centrale d'agriculture, à l'occasion de l'examen des cultures comparées de M. Battereau-Danet.

TABLEAU DES PRODUITS COMPARÉS DE PLUSIEURS VARIÉTÉS DE POMMES DE TERRE, À SUPERFICIE CULTIVÉE ÉGALE.

VARIÉTÉS.	1 kilogr. planté a produit	PRODUIT à surface égale de 0h,01.	PROPORTION de la fécule p. 100 kil. de tubercules.	QUANTITÉ de fécule.	DATE de la récolte.	MOIS.
	kil.	kil.				
Rohan.....	58	360	16,60	60 //	25	Octobre.
Grosse jaune.....	37	230	23,26	53,5	19	*Idem.*
Schaw d'Écosse.....	92	200	22	44 //	20	Septembre.
Tardive d'Islande....	56	250	17,2	43,1	19	Octobre.
Ségonzac.....	32	200	20,80	41,6	19	*Idem.*
Sibérie.....	40	250	14	35 //	8	Novembre.
Duvilliers.....	40	250	13,60	34,35	19	Octobre.

Ce tableau montre que, dans les circonstances toutes favorables à la culture de la pomme de terre de Rohan, cette variété serait la plus productive relativement à la quantité totale récoltée et à la substance alimentaire contenue; viendraient ensuite, sous ces mêmes rapports, la grosse jaune, puis la variété dite schaw d'Écosse; que, pour le consommateur fabricant de fécule, par exemple, la grosse jaune occuperait le premier rang; la schaw d'Écosse aurait le second : ce sont aussi les variétés les plus farineuses et celles qui, considérées comme aliment, méritent et obtiennent la préférence parmi les produits des grandes cultures.

Sous les mêmes rapports, la pomme de terre de Rohan ne tiendrait que le quatrième rang, et ne serait plus avantageuse pour le cultivateur s'il s'agissait, soit d'en extraire de la fécule sur lieu, soit de la transporter pour la vendre; car, pour en obtenir un égal produit, il faudrait soumettre au râpage 150 parties au lieu de 100.

ÉTAT ET PROPORTIONS DE LA FÉCULE DANS LES POMMES DE TERRE GELÉES.

Un fait remarquable relatif à l'une de nos plus importantes industries agricoles a depuis longtemps, fixé l'attention des fabricants de fécule. On sait, en effet, que les pommes de terre gelées donnent un produit moindre de quelques centièmes seulement qu'avant leur congélation, tandis qu'*après le dégel on n'en obtient plus que le quart, à peine, de la proportion ordinaire, c'est-à-dire 3 ou 4 au lieu de 15 à 17 pour 100.*

Après avoir examiné attentivement cette grave question par l'analyse comparée, j'ai constaté que la congélation et le dégel n'avaient rien rendu soluble, de même que ces phénomènes n'avaient occasionné aucune déperdition; il fallait chercher ailleurs la cause de la diminution de rendement en fécule. Il me parut probable que l'extraction devait être entravée par quelque difficulté mécanique.

Afin de reconnaître quel arrangement particulier dans la fécule pouvait causer cette perte, je réunis les dépôts féculents des tubercules soumis à la râpe dégelés; ils furent délayés dans l'eau, puis passés sans agitation au travers d'un tamis de soie : la portion restée sur le tamis devant contenir les agglomérations, s'il s'en trouvait, que le frottement eût fait passer au travers du premier tamis : cette fécule, *a*, case 2, planche II, plus grenue, semblait comme feutrée.

Examinée sous un faible grossissement du microscope, ses grains, *b*, parurent réunis en paquets arrondis, dont le diamètre moyen était quatre à cinq fois plus grand que celui des gros grains de fécule, et dont quelques-uns étaient adhérents deux à deux, trois à trois ou en plus grand nombre; placés sous un plus fort grossissement, les grains parurent réunis, dans chaque agglomération, par une membrane plissée entre les saillies que leur protubérance marquait.

Une goutte d'eau introduite entre les lames du porte-objet fit peu à peu gonfler ces sacs membraneux, en s'y introduisant par endosmose; augmentant ainsi la transparence, elle laissa voir distinctement tous les grains de fécule enfermés dans les cellules isolées, ou réunies deux, trois ou quatre ensemble, et qui, soustraites aux pressions latérales supportées dans le tissu, avaient changé leur configuration irrégulière polyédrique en une forme de sphéroïde.

Les figures *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, montrent l'aspect de ces cellules dégagées du tissu : on remarque sous la lettre *c* une cellule isolée ou déchirée, ayant laissé sortir la plus grande partie des grains de fécule qu'elle renfermait.

On voit en *f*, deux cellules également imbibées d'eau adhérentes entre elles, et dont l'une est vidée de la fécule qu'elle contenait.

L'agglomération *g* de trois cellules encore adhérentes par quelques portions de leurs parois, montre les déchirures sur les deux premières, dont une a perdu plusieurs grains de fécule.

La pulpe restée sur le tamis après les lavages, examinée au microscope, se composait de cellules, soit groupées en plus ou moins grand nombre, soit isolées, la plupart remplies de fécule et arrondies par la pression intérieure que ne contrebalançait plus la pression extérieure des cellules voisines; enfin la fécule, même tamisée deux fois, contenait encore quelques cellules isolées, globuliformes et remplies de fécule.

Ces observations, concordantes entre elles et avec les expériences comparatives sur la composition des pommes de terre avant et après la congélation, ne pouvaient laisser de doute sur la cause du phénomène, ni sur les déductions à en tirer dans l'intérêt de l'industrie agricole.

On conçoit en effet que, par suite des changements de volume et d'état dans les liquides successivement congelés et dégelés, l'adhérence entre les cellules du tissu interne avait été détruite en même temps et de la même manière que cela avait eu lieu entre les parties corticales et l'épiderme, si facile à séparer des tubercules après le dégel.

La plupart des cellules isolées et des groupes de cellules ayant perdu leur adhérence dans la masse tuberculeuse, elles devaient se séparer sans offrir assez de résistence aux dentures des râpes pour être déchirées.

Le râpage ne devait donc mettre en liberté qu'une petite proportion de la fécule, et celle-ci seule devenait facile à extraire; tout le reste, enfermé dans les utricules isolées ou groupées, demeurait sur les tamis fins avec le résidu pulpeux.

On explique facilement aussi comment les tubercules, traités avant le dégel, donnent, à quelques centièmes près, les mêmes produits qu'avant leur congélation : c'est qu'alors le plus grand nombre de leurs utricules, scellées dans la masse par le liquide solidifié, peuvent résister assez aux dents de la râpe pour être entamées et déchirées par elle.

Enfin, si parfois les pommes de terre gelées sont moins farineuses et plus sucrées, c'est qu'à l'époque avancée de la saison où

ces caractères ont été observés, la végétation des tubercules avait pu, avant la congélation, développer une quantité sensible de diastase capable, comme on le sait, de liquéfier et de saccharifier, pendant la coction, la substance amylacée.

CAUSE DE LA COLORATION BRUNE, DE LA SAVEUR ÂCRE ET DE L'ODEUR VIREUSE DES POMMES DE TERRE DÉGELÉES.

Chacun a pu observer ces caractères que présentent généralement les tubercules après le dégel, et que la cuisson modifie plus ou moins. Je me suis occupé de les constater d'abord dans les tubercules, au moment du dégel et après un temps plus ou moins long, puis de rechercher leurs relations avec les différentes parties des tissus; enfin, d'en déduire les procédés facilement praticables de conserver et d'utiliser les pommes de terre en éliminant ces influences défavorables.

Si l'on coupe un tubercule par un plan perpendiculaire à l'axe de cette tige souterraine, on observera dans la partie centrale plus translucide qu'entoure une rangée de vaisseaux une proportion de fécule moindre de deux à huit pour cent que dans toute la partie corticale plus opaque enveloppant cette rangée de conduits.

La différence dans la proportion de fécule, facile à reconnaître sous le microscope par le nombre de grains de chaque cellule, est d'autant plus grande que les tubercules sont plus aqueux [1]; entre la couche corticale épaisse et l'épiderme, se trouve la médulle externe, colorée en nuances fauves, rougeâtres ou violettes et souvent verdâtres, lorsque les tubercules se sont développés près de la superficie du sol. Ce tissu se montre, sous le microscope, complétement privé de fécule; c'est lui qui renferme, en proportions variables, la plus grande partie des principes colorants, âcres et à odeur vireuse.

[1] Afin d'éviter toute chance d'erreur, on devra donc diviser en totalité plusieurs tubercules lorsqu'on se proposera d'apprécier exactement, par dessiccation ou suivant une méthode analytique quelconque, les influences des variétés des sols, des engrais, des procédés de la culture et des phénomènes météorologiques sur les produits de la pomme de terre.

En effet, si, après avoir séparé l'épiderme, on enlève à la râpe toute la partie sous-jacente colorée jusqu'à la masse blanchâtre de l'écorce, cette pulpe acquiert promptement à l'air une coloration brune; le liquide qui s'en écoule spontanément offre une odeur vireuse et un goût âcre. Ces caractères varient dans différentes pommes de terre, au point d'être à peine sensibles chez les unes, tandis que chez les autres ils sont très-fortement prononcés[1]. Dans les différents procédés de cuisson, les tubercules sains sont débarrassés de la plus grande partie de ces principes; car, exposés, par leur situation sous l'épiderme, à la première et à la plus forte impression de la chaleur, ils sont modifiés ou entraînés en vapeur ou même dissous dans le liquide environnant, s'ils n'ont pas été éliminés mécaniquement par un épluchage préalable.

Il est facile de se rendre compte des effets qu'ils produisent lorsque les tubercules dégelés laissent en contact les liquides de leurs tissus: ces principes, en se répandant alors sans obstacle dans l'intérieur de la masse féculante, lui communiquent les caractères observés.

Quant au caractère acide et au goût putride développés quelques jours après le dégel, ils tiennent aux altérations ordinaires dans les sucs végétaux abandonnés à eux-mêmes; alors les tubercules, en partie colorés en brun, laissent encore apercevoir nettement leurs cellules disloquées et remplies de fécule.

L'application des données positives qui précèdent nous permettra d'indiquer les moyens à employer pour tirer parti des pommes de terre gelées.

Lorsque, dans une féculerie, une partie de l'approvisionnement

[1] La différence entre les proportions de fécule dans la partie centrale et dans l'écorce, ainsi que l'absence de toute substance amylacée dans la médule externe, sont encore décelées par la solution aqueuse d'iode, si l'on y tient quelques instants immergées des tranches minces de la pomme de terre lavées préalablement. L'absence de coloration marque aussi le trajet des vaisseaux; enfin, elle met en évidence des lacunes irrégulières dépourvues de fécule. Les mêmes parties, relativement à certaines variétés violettes, recèlent la matière colorante spéciale qui se retrouve aussi infiltrée dans la médulle externe.

aurait été atteinte par les gelées, on ne saurait trop se hâter de terminer le traitement des tubercules attaqués avant que le dégel arrivât.

Les pommes de terre que l'on n'aurait pu soustraire à la congélation, étendues sur le sol, lavées par les pluies et desséchées spontanément, conserveront la plus grande partie de leur substance alimentaire.

On voit encore que les naturels du pays au Pérou ne perdent rien de la substance solide des mêmes tubercules, lorsque, pour les rendre faciles à conserver et à porter dans leurs excursions, ils les soumettent à la gelée sur les hauteurs, puis à la dessiccation, aux expositions chaudes de leurs vallées et des plaines. Je dois à M. d'Orbigny la connaissance de cette pratique.

Plusieurs autres faits, cités par MM. de Lasteyrie, Vilmorin, Séguier, Bottin, Dailly, Berthier, de Roville, le général Demarçay, etc. viennent à l'appui de ces déductions.

Un procédé, qui nous semblerait facilement applicable dans le plus grand nombre des cas pour conserver les tubercules atteints par la gelée, consisterait à les broyer sans attendre le dégel, dans un moulin à cidre, dans un mortier, ou à l'aide de battes ou de maillets sur un sol dallé.

On les délayerait ensuite dans l'eau; puis, tamisant cette sorte de pulpe dégelée, on en obtiendrait par les moyens usuels la fécule passée et déposée au fond des vases.

Quant à la pulpe restée sur le tamis, pressée, séchée à l'air et ultérieurement broyée à sec, elle donnerait une bonne farine alimentaire, si l'on ne préférait la faire manger aux bestiaux à l'état humide, cuite ou panifiée.

En essayant en petit ce procédé, 100 parties de pommes de terre contenant 19 de fécule ont donné :

1° En fécule passée au tamis de soie.....	9,0	20,5
2° En pulpe séchée.....	11,5	

Les données relatives à la distribution de la fécule dans la masse

tuberculeuse, et aux qualités des différentes couches des tissus, montrent enfin comment une friction énergique, opérée dans les laveurs mécaniques ou manuels avant le râpage, peut enlever une partie de l'épiderme ainsi que la médulle externe, sans rien faire perdre du produit utile, et donner ainsi de la fécule plus blanche et plus pure.

MOYENS D'ESSAYER LES SELS AMMONIACAUX, LES EAUX POTABLES, LES VINAIGRES ET L'ACIDE ACÉTIQUE BLANC PAR L'AMIDON.

L'eau chargée d'ammoniaque n'agit pas sensiblement sur la fécule, tandis que moins d'un centième du poids du liquide en soude ou potasse suffit pour faire gonfler énormément toute la matière organique, au point qu'elle peut occuper alors 70 à 100 fois son volume primitif.

Si donc on met en contact une solution de soude ou de potasse et une solution de sulfate d'ammoniaque, ou de tout autre sel ammoniacal, dans des proportions telles que les deux bases soient exactement équivalentes, à l'instant même la réaction est complète ; il n'y a plus de sulfate d'ammoniaque ni de soude ou potasse libre, car le liquide ne conserve aucune action sensible sur la fécule : tandis que 0,02 de l'une des bases fixes employées eussent suffi pour rendre la fécule gélatiforme en faisant gonfler considérablement sa substance organique.

Je suis parvenu à rendre le même réactif cinq fois plus sensible en opérant ainsi :

Après avoir porté au bain-marie la température d'un mélange de 9 parties d'eau et d'une partie de fécule à + 57° centésimaux soutenue pendant dix minutes, on laissa déposer et l'on mit dans deux verres à expériences un égal volume du dépôt.

Alors on prépara une solution de soude pure dans l'eau exempte d'acide carbonique. 11 demi-centimètres cubes de cette solution, à la température de + 15°, donnaient, en les versant à l'aide de l'alcalimètre Gay-Lussac, 64 gouttes, et saturaient très-exactement

50 demi-centimètres cubes d'acide sulfurique normal (contenant 5 d'acide sulfurique pur à 1 équivalent d'eau).

Ainsi donc, en saturant un égal volume d'acide normal avec l'ammoniaque, on se procura une solution de sulfate neutre d'ammoniaque exactement équivalente à 11 demi-centimètres cubes de la solution de soude pure.

Ces deux solutions, mélangées ensemble, donnèrent immédiatement lieu à une réaction complète à froid, car le liquide, versé sur la fécule entr'ouverte, ne détermina pas son gonflement. En ajoutant à un mélange semblable une ou deux gouttes de la solution de soude (c'est-à-dire 65 ou 66 gouttes au lieu de 64), le mélange opéré de même donna un liquide agissant sur la fécule, et lui faisant éprouver le gonflement précité, évidemment dû à l'excès de soude caustique.

Le même phénomène eut lieu en substituant à un cinquantième de la quantité de sulfate d'ammoniaque une quantité équivalente de sulfate de potasse ou de sulfate de soude, avant de mêler les 11 demi-centimètres cubes de la solution de soude; tout autre sel inerte aurait produit le même effet : donc ce moyen peut s'appliquer à déceler les mélanges de sels neutres avec le sulfate d'ammoniaque; à plus forte raison indiquerait-il l'addition qui s'est faite souvent des sels à réaction acide, du bi-sulfate de potasse (sulfate de potasse et d'eau), par exemple.

La fécule portée à 100° dans 100 fois son poids d'eau, refroidie et filtrée, puis bleuie par un léger excès d'iode, devient tellement contractile sous l'influence des sels neutres, qu'elle peut faire distinguer les unes des autres certaines eaux naturelles, notamment les eaux de rivière des eaux de source moins pures, à plus forte raison de la plupart des eaux de puits, et, en général, à reconnaître la présence de faibles proportions de sels neutres ou acides, ou légèrement alcalins.

Ainsi, par exemple, si l'on porte à 100° un gramme de fécule dans 100 grammes d'eau que l'on filtre, puis, si l'on ajoute à la

solution filtrée un très-léger excès d'iode, on aura terminé la préparation du réactif.

Si l'on veut s'en servir pour comparer le degré de pureté relative de plusieurs eaux applicables à certains arts agricoles, aux teintures, à l'économie domestique, on versera dans plusieurs verres à expériences 10 centimètres cubes de ce liquide bleu, puis on ajoutera dans chacun des vases une quantité suffisante des eaux à essayer, pour opérer la séparation de la substance organique bleuie.

L'eau dont il faudra le moindre volume pour produire cette sorte de coagulation sera généralement la plus chargée de sels, quels qu'ils soient, car tous concourent à cet effet.

Il sera bien d'ajouter préalablement à chacune des eaux quelques gouttes d'iode, de manière à leur donner une égale et légère nuance jaunâtre.

On reconnaîtra nettement ainsi les puretés relatives des eaux distillées, de Seine, de l'Ourcq, des puits, etc.

L'eau de Seine, clarifiée par un demi-millième d'alun, se distinguera immédiatement de l'eau simplement filtrée, et ce mode d'essai pourrait être tout à fait usuel dans les marchés relatifs aux distributions d'eau.

Un troisième mode d'action sur la même substance organique permet de démontrer directement certaines falsifications du vinaigre, et notamment celles qui ont lieu par l'addition de l'acide sulfurique, ou des acides azotique ou chlorhydrique[1].

Voici comment on peut très-facilement faire cette épreuve :

Que l'on mette dans une fiole 1 gramme de fécule et 100 centimètres cubes d'un vinaigre de vin, de grains ou de cidre;

Que dans un mélange semblable on ajoute un demi-centième d'acide sulfurique, puis que l'on porte à 100° les deux liquides en les agitant;

[1] Je me suis assuré que le même phénomène de dissolution complète est produit par l'acide tartrique, privé, au moyen de la baryte, de l'acide sulfurique, qui l'accompagne toujours dans les acides commerciaux.

Le premier conservera, après une ébullition soutenue pendant vingt minutes, une opacité lactescente, tandis que le second aura acquis, dès les premiers moments de l'ébullition, une transparence qu'il conservera indéfiniment. Ce dernier, même après 30 à 45 minutes d'ébullition, prendra une nuance bleue ou violette foncée, lorsqu'après l'avoir laissé refroidir on y versera de la solution d'iode. Chauffé pendant 30 minutes à la même température, le premier liquide ne donnera aucune coloration par l'iode.

APPLICATIONS PRINCIPALES DES FÉCULES, DE LA DEXTRINE ET DU SUCRE D'AMIDON (GLUCOSE).

1° Amidon à l'état normal : fécule des pommes de terre, amidon des céréales, fécules exotiques.

La fécule s'emploie directement dans la panification : 10 à 15 centièmes ajoutés aux farines, surtout à celles de deuxième qualité, rendent les produits plus blancs; cette application est d'un grand intérêt, car elle offre une garantie contre les disettes de pain.

Dans le collage des papiers à la cuve, elle répartit mieux le savon d'abord et ensuite la *résine* précipitée; elle blanchit la pâte.

La fécule sert à donner de l'apprêt aux tissus de chanvre, de lin et de coton blanchis; on en fait usage pour l'essai des sels ammoniacaux et de l'acide acétique. (Voyez p. 360.)

On l'emploie dans la préparation de divers produits alimentaires; l'amidon des céréales est fréquemment appliqué à l'état *cru* pour former les apprêts blancs ou azurés des tissus, sparteries, etc. Il sert à la confection des empois fins, à l'épaississement des mordants.

Les fécules exotiques, ainsi que celles des batates, qui n'ont pas de saveur particulière, sont fort en usage, pour obtenir des potages légers, faciles à rendre agréables au goût.

Une grande partie des quantités de fécule extraites chaque année des pommes de terre sont livrées, à l'état humide ou sec, aux fabricants de dextrine, de sirops et de glucose solide.

2° Fécule transformée en dextrine.

La fécule des pommes de terre est rendue soluble, en conservant sa forme granuleuse et presque toute sa blancheur, à l'aide d'un procédé dont j'ai pu indiquer les effets dans le laboratoire, et que M. Jacob d'abord, mais surtout MM. Heuzé, propriétaires du brevet d'invention, sont parvenus à rendre manufacturier. Il consiste à imprégner la fécule de 0,0025 d'acide azotique, que l'on étend préalablement de 200 volumes d'eau ; on fait dessécher ce mélange, et l'on porte la température à 110 ou 125° pendant une heure environ : la minime portion, $\frac{1}{400}$, d'acide alors concentré et disséminé entre les couches de la fécule, opère une désagrégation telle, que la substance amylacée se peut ensuite gonfler et dissoudre dans l'eau froide. Elle reçoit actuellement une foule d'applications économiques.

C'est ainsi qu'on l'emploie avec les mordants et pour l'épaississement des diverses couleurs d'application, sur les toiles peintes; dans le gommage et les apprêts des indiennes de belle qualité, comme pour les impressions sur les tissus de laine, elle ne charge point les fonds et n'altère pas les nuances; elle sert à composer les bains gommeux d'impression sur soie.

Le fonçage et la fixation des couleurs des papiers peints et des estampes coloriées, le vernissage provisoire des peintures à l'huile, sont autant d'applications économiques dans lesquelles la dextrine peut remplacer encore les *gommes exotiques*.

Employée pour confectionner des appareils qui maintiennent les fractures réduites, elle offre une des applications les plus importantes dans l'intérêt de l'humanité.

EMPLOI DE LA DEXTRINE DANS LA CHIRURGIE.

Depuis longtemps les chirurgiens s'étaient préoccupés des moyens de réaliser les effets avantageux des appareils inamovibles inventés par notre célèbre chirurgien militaire M. Larrey. M. Velpeau, plus particulièrement, cherchait à remédier aux inconvénients reprochés même à la modification, heureuse d'ailleurs, due à M. Seutin, de Bruxelles; il demandait aux chimistes une substance adhésive, facile à conserver, peu dispendieuse, prompte à préparer, susceptible de s'étendre sur des bandes de toile, soluble dans l'eau mêlée avec o,5 d'alcool, afin que la dessiccation et la consolidation du bandage fussent rapides, redissoluble dans l'eau froide ou tiède, de façon à faciliter la levée partielle de l'appareil.... Il me fut facile de répondre au savant praticien qu'il venait précisément d'énumérer les propriétés de la dextrine, et que cette substance blanche et pulvérulente, depuis peu de temps mise sous cette forme dans le commerce, remplirait probablement toutes les conditions exigées, sans que son prix dépassât celui de l'amidon des céréales employé par M. Seutin.

Les expériences de M. Velpeau offrirent les plus favorables résultats, et la firent admettre dans le service des hôpitaux, notamment à la Charité, puis à l'Hôtel-Dieu : l'usage ne tarda point à s'en répandre dans la pratique civile parmi les classes aisées. On le comprendra sans peine, si l'on songe que les bandages à la dextrine, légers et solides, maintiennent si bien les membres fracturés sur lesquels ils se moulent, en les enveloppant, que les blessés ne sont plus contraints de garder une position fixe, toujours extrêmement pénible; que, loin de là, un peu de mouvement au bout de quelques jours est utile pour conserver la force, hâter la consolidation, éviter des excoriations et divers accidents.

S'il y a convenance, pendant le traitement, de débrider une

partie ou la totalité du bandage, il suffit de mouiller avec de l'eau tiède : on enlève les bandes, qu'on peut remplacer par d'autres enduites de dextrine, et que l'on serre moins, à volonté.

M. Félix Darcet, interne dans le service de M. Velpeau, a disposé un petit appareil fort commode pour *dextriner* les bandes; il permet de préparer ainsi et d'enrouler une longueur de 12 mètres en 3 minutes, au lieu de 20 qu'exigeait le *dextrinage* à la main.

On emplit une petite mesure en fer-blanc qui contient 100 grammes de dextrine; on la verse dans un bol ou une terrine, et l'on y ajoute 60 grammes d'eau-de-vie camphrée ordinaire, qui se trouve immédiatement dosée, en remplissant de ce liquide la portion de la double mesure sur laquelle est écrit le mot ALCOOL.

On délaye la dextrine très-vite et facilement, car elle ne s'hydrate que peu à peu, en enlevant de l'eau à l'*alcool* : au bout de quelques minutes le mélange acquiert la consistance du miel ; on y ajoute 40 grammes d'eau, que l'on obtient en remplissant la portion de la double mesure étiquettée EAU : on malaxe bien, et la substance est prête.

Versée dans l'auge du petit appareil, on y plonge la bande; celle-ci est aussitôt enroulée sur un petit cylindre à manivelle, et le rouleau dextriné, prêt à servir, s'enlève. Voici les doses de dextrine sèche relatives aux différentes fractures :

Pour une fracture de la clavicule 400 grammes.
——————— de la cuisse... 300
——————— de la jambe.. 200
——————— de l'avant-bras 150

Ces bandes adhésives, si faciles à préparer et à fixer ainsi, sont fréquemment employées pour rapprocher les bords des petites plaies, et les mettre à l'abri de l'air ou des frottements accidentels.

Elle sert à une foule d'usages pour lesquels elle offre une matière mucilagineuse ou collante, que l'on prépare à l'instant en la délayant à froid dans l'eau, et qui reste imputrescible.

SUCRE D'AMIDON.

Obtenu aujourd'hui sous formes de sirops ou de pains solides et blancs, il s'emploie en quantités considérables, non-seulement comme matière première des distilleries, mais encore et surtout pour compléter, dans les vins faibles ou légers, la proportion d'alcool utile à leur conservation. La fabrication des bières blanches est rendue très-facile par l'usage de ce sucre, qui commence à s'étendre à l'amélioration des cidres. Depuis deux ans, il s'en exporte des quantités considérables de France pour l'Angleterre.

Les nombreuses applications de la *dextrine*, de la *glucose* et des *sirops* de *fécule* ont plus que doublé, depuis un an, la fabrication de ces produits; elles ont donné à l'industrie agricole qui s'y rattache une impulsion qui doit graduellement la généraliser en France.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

FÉCULE DES POMMES DE TERRE.

Case 1. fig. *a*, *b*. Grains fendillés spontanément pendant la maturation des tubercules; fig. *a'*, *c*, *d*, grains offrant un ou deux hiles; *d'*, grains soudés formant un grain double.

Case 2. Grains desséchés à + 150 degrés vus dans l'alcool, montrant dans l'intérieur des hiles évasés, les lignes des couches concentriques d'accroissement.

Case 3. *p*, *q*, *r*, *s*, *t*. Même fécule éprouvant par degrés une dilatation, des fractures et une dissolution partielle dans l'eau.

Case 4, *b*, *c*, *d*, *e*. Grains de la même fécule mise dans l'eau, s'hydratant sans se dissoudre.

Fig. *f*. Un de ces grains attaqué dans le hile, par la solution alcaline à 0,01 de soude, qui gonfle ensuite rapidement toutes les parties sous les formes *f'*, *g'*, *h* et *h'*.

Un gonflement graduel plus uniforme a lieu en faisant réagir la même solution sur la fécule normale : c'est ce que montrent les transformations successives des grains et de leurs fragments, planche II.

Autour de la lettre *a*, quatre grains, dont un double, desséchés à 200° centésimaux, vus dans l'alcool.

PLANCHE II.

FÉCULE DES POMMES DE TERRE.

Fig. *a*, *a'*, *a''*. Fécule à l'état normal, *a''*, *b*. Grains *étoilés* ou fendillés dans les tubercules venus lentement à maturité complète. *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *j*. Grains du même tubercule rompus en deux

ou plusieurs fragments par la pression et dans l'eau : la matière interne reste solide.

Fig. *k*, *l*, *m*. Fragments gonflés dans toutes leurs parties par une solution contenant 0,01 de soude. *n*, *o*, *p*. Grains entiers sous l'influence de la même réaction.

Case 2. Cellules dissociées d'un tubercule de pommes de terre dégelé; *a*, substance interne du tubercule vue à l'œil nu; *b*, la même observée sous une forte loupe : au microscope elle offre les autres figures suivantes : *e*, cellule intacte; *c*, cellule déchirée et plissée, ayant perdu la plus grande partie de ses grains de fécule vue à sec; *d*, cellule remplie de fécule, également vue sans eau; *f*, deux cellules adhérentes dont une est vide; *g*, agglomération de trois cellules ayant encore quelques points d'adhérence : deux sont entr'ouvertes.

PLANCHE III.

AMIDON DE LA RACINE DE COLOMBO (*MENISPERMUM PALMATUM*).

Case 1. Amidon à l'état normal.

Case 2. Le même dont le hile a été ouvert par un retrait opéré à 200° centésimaux.

Case 3. Amidon chauffé à 200° : les grains sont attaqués extérieurement par la guttule d'eau déposée après l'évaporation de l'alcool; l'un d'eux, *s'*, est graduellement plus hydraté.

Case 4. Les mêmes exfoliés par l'eau légèrement alcoolisée, et teints en violet par l'iode.

Case 5. Grains d'amidon en partie dépouillés des couches externes par la végétation d'un tubercule de pommes de terre.

Case 6. Mêmes grains chauffés à 200°, vus dans l'alcool.

Case 7. Les mêmes attaqués à l'extérieur par la guttule d'eau déposée après l'évaporation spontanée de l'alcool.

Case 8. Mêmes grains *exfoliés* par l'eau alcoolisée, puis teints par l'iode.

Case 9. Deuxième exemple de fécule de pomme de terre désagrégée, et se réagrégeant en granules par suite d'un arrêt de végétation du tubercule.

PLANCHE IV.

FORMES ET DIMENSIONS DE L'AMIDON DE DIVERSES PLANTES.

Fig. 1. Fécule du *canna gigantea; a, b, c, d, e,* grains à l'état normal; *f, g,* grains graduellement exfoliés par la végétation qui épuise les vieux rhizomes.

Fig. 2. Fécule du *maranta arundinacea : a, b, c,* grains à l'état normal; *f, g,* grains exfoliés comme ci-dessus; *g,* couche externe séparée d'un grain par pression.

Fig. 3. Amidon des cotylédons des fèves; en *a, a', b, b', c* et *c'*, on voit un grain sous deux positions montrant la dépression médiane canaliculée.

Fig. 4. Fécule des tubercules d'*oxalis crenata.*

Fig. 5. Grains détachés, et, figure 6, grains agglomérés de la moelle du *cycas circinalis.*

Fig. 7. Amidon de blé : de *a*, en *a'* et *a''* un grain sous trois positions.

Fig. 8. Même amidon, où le hile est rendu apparent par la température de 220° (vu dans l'alcool).

Fig. 9. Le même, attaqué par l'eau laissée après l'évaporation de l'alcool.

Fig. 9'. Le même gonflé, puis exfolié par l'eau.

Fig. 10. Fécule de sagou rosé du commerce.

Fig. 11. Fécule de sagou blanc, dont les altérations annoncent qu'une température plus élevée en présence de plus d'eau a été employée dans sa préparation.

Fig. 12. Fécule d'une bulbe de jacinthe.

Fig. 13. La même s'exfoliant dans une vieille écaille.

Fig. 14. Fécule des batates.

Fig. 15. La même chauffée à 200°.

Fig. 16. La même commençant à s'hydrater.

Fig. 17. Fécule d'*orchis bifolia.*

Fig. 18. Fécule d'*orchis latifolia.*

Fig. 19. Grains de fécule d'un tubercule de pommes de terre dont on a arrêté la végétation, et granules se formant aux dépens des gros grains qui se désagrégent; granules plus dé-

veloppés dont plusieurs sont adhérents deux à deux, et d'autres attaqués dans le hile par une solution à 0,005 de soude, qui, gonflant seulement la substance amylacée intérieure, lui fait faire hernie au dehors.

Fig. 20. Amidon de maïs. Grains enchâssés et soudés dans les parties cornées du périsperme; *a*, *b*, grains isolés de la partie farineuse.

Fig. 21. Fécule du *cactus peruvianus*.

Fig. 22. Amidon du sorgho rouge.

Fig. 23. Amidon des graines d'*aponogetum distachyum*.

Fig. 24. Le même, gonflé par la solution de soude.

Fig. 25. Amidon du *cactus pereskia grandiflora*.

Fig. 26. Fécule du *cactus brasiliensis*.

Fig. 27. Amidon du fruit du *panicum italicum*.

Fig. 28. Fécule du *cactus flagelliformis*.

Fig. 29. Amidon de l'*echinocactus erinaceus*.

Fig. 30. Fécule du *cactus opuntia tuna*.

Fig. 31. Fécule du *cactus carassavicus*.

Fig. 32. Fécule du *cactus opuntia ficus-indica*.

Fig. 33. Amidon du millet (*panicum miliaceum*).

On voit au-dessous quatre grains gonflés par la solution de soude.

Fig. 34. Fécule du *cactus mamillaria discolor*.

Fig. 35. Amidon de l'écorce de l'*aylanthus glandulosa*.

Fig. 36. Fécule du panais.

Fig. 37. Fécule du *cactus serpentinus*.

Fig 38. Fécule du *cactus monstruosus*.

Fig. 39. Amidon de la graine de betterave.

Fig. 40. Amidon de la graine du *chenopodium quinoa*.

Les dimensions de toutes les fécules de cette planche sont comparables, depuis celles du *canna gigantea*, ayant au maximum 185 millièmes de millimètre (comme les fécules les plus grosses des pommes de terre et de la racine du Colombo), jusqu'à l'amidon de la graine du *chenopodium quinoa*, ayant au plus deux millièmes de millimètre.

PLANCHE V.

FÉCULE DU *CANNA DISCOLOR* ET RÉACTION DE LA DIASTASE.

Case 1, fig. *a*, *a'*, *a''*, *b*, *d*. Grains chauffés à 160, 200 et 210° centésimaux, vus dans l'alcool. (Voyez cette fécule à l'état normale et ses grains écrasés, pl. VI, cases 4 et 5.)

Fig. *c*, *c*, *c*. Même fécule se gonflant dans l'eau après avoir été chauffée à 160°, et montrant sur chaque grain le hile entr'ouvert.

Fig. *e*. Même fécule d'abord chauffée à 200°, puis plongée dans l'alcool : l'évaporation, en déposant un peu d'eau sur chaque grain, a fait dissoudre une partie de la couche externe.

Fig. *f*, *f'*, *f''*. Grains de la fécule du *canna discolor*, d'abord chauffés à + 205°, s'exfoliant dans l'eau (on les a colorés par l'iode, afin de mieux montrer les couches minces développées).

Case 2, A. Deux grains hydratés et gonflés dans l'eau à + 90°; A', A', grains traités de même, puis bleuis par l'iode.

Dès que les grains hydratés et chauffés de + 70° à + 80° sont touchés par la diastase, ils se désagrégent, toutes leurs formes disparaissent, et, alors mis en contact avec l'iode, le liquide donne une nuance violette B, puis vineuse B', puis très-faible B'', puis enfin presque nulle B''', après trois heures de réaction.

PLANCHE VI.

FÉCULE DES LIS.

Case 1. Fécule de lis à l'état normal.

Case 2. La même, chauffée à 200°, vue dans l'alcool, hile rendu apparent; *a*, *a'* même grain dans deux positions.

Case 3. Grains d'abord hydratés par évaporation de l'alcool aqueux, puis exfoliés en tuniques ou enveloppes concentriques.

Case 4. Fécule du *canna discolor* normale.

Case 5. Même fécule rompue ou écrasée entre deux lames de verre.

les grains *a*, *b*, seulement fendus; en *c* et *c'*, même grain sous deux positions; *e*, grain rompu en trois parties et entr'ouvert; *d* et *d'*, grains plus aplatis montrant l'espèce de ductilité de cette fécule.

PLANCHE VII.

FÉCULE DES POMMES DE TERRE, AMIDONS DU *CHARA* ET DES POIS.

Case 1, *a*, *b*, *c*. Fécule de pommes de terre (chauffée à + 200°) dont la première couche externe a été attaquée, puis dissoute par la guttule d'eau que l'évaporation de l'alcool a laissée sur chaque grain; *d*, *e*, *f*, mêmes grains *exfoliés* par l'eau plus ou moins alcoolisée, et dont deux, *e*, *f*, sont colorés par l'iode.

Case 2. Amidon dans le suc du *chara hispida*.

Case 3. Amidon dans les articulations.

Case 4. Amidon des *graines* du même *chara*.

Case 5. Le même fendillé ou écrasé par pression.

Case 6. Amidon des pois : 1° *a*, *a'*; 2° *b*, *b'*, *b''*; 3° *c*, *c'*, *c''*; 4° *d*, *d'*, *d''*; même grain, vu sous deux, trois ou quatre positions, montrant la dépression qui fit supposer un hile longitudinal; *e*, *f*, deux grains cassés suivant la ligne de cette dépression.

Case 7. Même amidon chauffé à 220° centésimaux, vu dans l'alcool, le hile devenu apparent.

Case 8. Amidon des pois gonflé par la solution de soude : les deux premières figures montrent le même grain dans deux positions.

Case 9. Grains hydratés dans l'eau bouillante.

Case 10. Grains de la case 7 s'exfoliant et se gonflant par degrés après l'évaporation de l'alcool.

PLANCHE VIII.

AMIDON DES POLLENS.

Case 1, figures *a*, *a'*. Grain de pollen du *ruppia maritima*, vu à l'état

normal sous deux positions; figures *d*, *d'*, *e*, même pollen comprimé laissant voir les quantités variables d'amidon qu'il renferme avec sa fovilla. Figures *b*, *c*, granules d'amidon sortis d'un grain de pollen déchiré. Figures *f*, *f'*, pollen lançant au dehors ses granules d'amidon gonflés par une solution contenant 0,01 de soude.

Case 2. Pollen du *naïas major*, contenant des dépôts plus ou moins abondants d'amidon. On voit, au-dessous, des granules amylacés sortis de ce pollen.

Case 3. Mêmes granules gonflés par la solution de soude.

Case 4. Amidon d'une graine de *naïas major* à demi développée.

Case 5. Amidon de la même graine venue à maturité.

Case 6. Même amidon gonflé par la soude.

Case 7. Pollen du *globba nutans*; *c*, jeune grain ne contenant pas encore d'amidon; *c'*, grain plus gros, à demi rempli d'amidon, mêlé de fovilla; *c''*, gros grain rempli d'amidon; *d*, grain de pollen faisant une explosion spontanée dans l'eau : les granules d'amidon *a*, *b*, qui sortent en tourbillonnant avec la fovilla, sont indiqués bleuis par l'iode sur la moitié inférieure de cette figure; *e*, grain de pollen rempli d'amidon et teint par l'iode; *f*, le même, gonflé par la solution de soude à 0,01, ayant chassé son enveloppe *f'*; *g*, même grain, plus gonflé, ayant brisé sa première enveloppe; *b''*, granules d'amidon du même pollen gonflés au maximum par la soude à 0,01; *b'*, mêmes grains bleuis par l'iode.

MÉMOIRE

SUR

LE RAYONNEMENT CHIMIQUE

QUI ACCOMPAGNE LA LUMIÈRE SOLAIRE ET LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

PAR M. EDMOND BECQUEREL,

DOCTEUR ÈS SCIENCES.

TROISIÈME MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À L'ACADÉMIE DES SCIENCES DANS SA SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1840.

§ I^er^. ACTION CHIMIQUE DU SPECTRE SOLAIRE. DE DEUX ORDRES DE RAYONS CHIMIQUES.

Les réactions opérées entre les éléments des corps placés sous l'influence de l'agent chimique qui accompagne la lumière solaire ont été déjà l'objet des investigations de plusieurs physiciens; leurs recherches ont porté principalement sur divers sels d'argent, d'or et de métaux facilement réductibles, sur le phosphore, la résine de gaïac et le mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène.

Schéele, le premier, étudia l'action de différentes parties du spectre sur un papier enduit de chlorure d'argent; il vit que ce papier était plus fortement noirci dans les rayons violets que dans

les autres. Plus tard, Wollaston et Ritter montrèrent que la coloration s'étendait, non-seulement à travers l'espace occupé par le violet, mais encore à un degré égal et environ à pareille distance au delà du spectre visible. D'après ces expériences confirmées par Beckmann et M. Bérard, Wollaston montra que ces effets, ainsi que d'autres attribués ordinairement à la lumière, n'étaient réellement dus à aucun des rayons perceptibles par l'organe de la vision, mais bien à l'action d'autres rayons invisibles qui les accompagnent.

Le phosphore, soumis par Vogel au même mode d'action, s'est coloré plus ou moins, suivant la partie du spectre dans laquelle il se trouvait. Ce physicien a reconnu que les rayons les plus réfrangibles étaient ceux qui le coloraient davantage, tandis que les rayons rouges, ou du moins ayant la même réfrangibilité que le rouge, étaient sans action sur lui. C'est aussi dans les rayons les plus réfrangibles que la combinaison du chlore et de l'hydrogène s'effectue le plus rapidement; le même phénomène se passe lors de l'action de la lumière sur un papier enduit d'acide chromique et sur un papier enduit de résine de gaïac; dans ce dernier cas, les rayons les plus réfrangibles sont les plus aptes à colorer cette résine, tandis que les moins réfrangibles sont les plus aptes à opérer une réaction inverse. Wollaston montra, le premier, que ce second effet était également produit par la chaleur. Mais, dans ce cas, ce n'est pas la chaleur qui agit, puisque le maximum d'action ne correspond pas au maximum de chaleur dans le spectre.

Seebeck avait remarqué que le papier préparé avec le chlorure d'argent prenait une teinte rougeâtre dans les rayons rouges; M. Herschel, en constatant ce fait, a montré de plus que les rayons rouges extrêmes (rayons qui échappent à la vue directe, mais qui se distinguent en regardant le spectre avec un verre bleu foncé) ne coloraient pas le papier sensitif de chlorure d'argent, mais qu'ils avaient la propriété d'empêcher la lumière diffuse de le faire noircir; et que, dans toutes les autres couleurs

prismatiques, la coloration avait également lieu : mais, comme il faut laisser le papier quelque temps dans le spectre solaire, et que celui-ci est accompagné d'une grande quantité de lumière diffuse, l'empreinte se forme sur un papier déjà impressionné, et alors, comme nous le verrons ci-après, il y a un plus grand nombre de rayons actifs que lorsque le papier n'a pas été impressionné.

M. Herschel a reconnu de plus que les rayons rouges extrêmes, obtenus en faisant passer un faisceau de rayons solaires à travers des verres rouges, faisaient prendre une teinte rougeâtre au papier sensitif de chlorure déjà impressionné. Il attribua cet effet à ce que les rayons rouges extrêmes déterminaient une destruction lente et graduelle des couches de couleur produites par les autres rayons. Cet effet ne serait-il pas plutôt le résultat de l'action des rayons calorifiques qui, lorsqu'ils sont seuls, produisent le même phénomène?

Tel était l'état des connaissances touchant l'influence des différentes parties du rayonnement solaire sur divers composés chimiques, lorsque j'ai étudié de nouveau l'action du spectre solaire sur des sels d'argent.

Je suis parvenu à des résultats nouveaux, qui montrent que l'agent chimique qui accompagne la lumière est au moins composé de deux ordres de rayons différents. Voici les faits qui tendent à établir cette distinction.

J'ai opéré principalement sur du papier de bromure d'argent, préparé, comme on sait, en étendant sur une feuille de papier successivement une couche d'une solution aqueuse de bromure de potassium, puis de nitrate d'argent, et faisant sécher le papier après l'application de chaque couche. Ce papier a l'avantage d'être plus sensible que celui que l'on prépare avec le chlorure d'argent.

Si, après avoir préparé un de ces papiers dans une obscurité complète, on projette immédiatement sur sa surface le spectre solaire provenant du passage d'un faisceau lumineux à travers un

prisme de verre ordinaire, et qu'on examine ce papier au bout de quelques minutes, on le voit coloré dans les rayons bleus, indigo, violets, comme dans la figure 1. Mais si, avant de l'exposer dans le spectre, on le laisse impressionner légèrement à la lumière diffuse, il n'en est plus de même, et la coloration a lieu, non-seulement dans les rayons les plus réfrangibles, mais encore dans la partie supérieure du spectre jusqu'au rouge; la figure 2 représente l'action produite sur un papier impressionné. Cette coloration du papier dans les rayons orangés, jaunes et verts, provient, comme on le verra ci-après, de l'action de rayons qui n'agissent pas de la même manière que les rayons chimiques déjà étudiés.

Au lieu d'un papier sensible non impressionné, j'ai expérimenté avec un papier enduit de bromure d'argent, ayant sa surface couverte de bandes parallèles, très-étroites, successivement non impressionnées et impresionnées. On obtient facilement ces bandes en exposant, pendant quelques secondes, à la lumière diffuse, sous un carton découpé, une feuille de papier sensitif nouvellement préparée; mais on s'arrange pour que la coloration des dernières bandes soit à peine sensible. Si l'on projette alors le spectre solaire sur ce papier, on remarque quelque temps après les résultats suivants : toute la partie exposée dans les rayons bleus, indigo, violets et au delà du violet, est noircie comme précédemment, tandis que, dans les rayo nsorangés, jaunes, verts, se trouvent des bandes noires qui, dans le vert, ont une couleur à peu près semblable à celle du papier dans le violet. Ces bandes sont celles qui ont été déjà impressionnées, tandis que celles qui ne l'ont pas été sont restées complétement blanches. On voit encore de ces bandes dans le commencement du bleu; mais elles finissent bientôt; car, dans ces rayons, les bandes non impressionnées primitivement ont déjà sensiblement la même couleur que les premières. Voyez fig. 3.

On peut, au lieu d'expérimenter avec un papier sur lequel on a formé des bandes alternativement impressionnées ou non im-

pressionnées, employer un papier de bromure d'argent que l'on a exposé préalablement à la lumière diffuse, sous un carton percé d'un grand nombre de petites ouvertures, mais seulement pendant quelques secondes : en plaçant ce papier dans le spectre, on voit dans les rayons verts, jaunes, orangés, des points noirs qui sont justement les points déjà impressionnés et qui ont continué à noircir dans la partie supérieure du spectre.

Ces résultats, confirmés par une série d'expériences et par l'action des écrans dont nous allons nous occuper, montrent bien que la lumière est accompagnée, en outre des rayons chimiques ordinaires qui influencent les sels d'argent, et qui s'étendent depuis la limite du vert et du bleu jusqu'au delà du violet, d'autres rayons qui produisent la même transformation, qui ne commencent pas une action, mais continuent l'action commencée.

Pour distinguer ces deux ordres de rayons, j'ai nommé les premiers *rayons excitateurs*, c'est-à-dire rayons qui, par leur réfraction, sont compris depuis les rayons bleus jusqu'au delà, et les autres *rayons continuateurs*, c'est-à-dire rayons continuant une action commencée sous l'influence d'autres rayons. On peut aussi rendre sensibles les *rayons continuateurs* en opérant de la manière suivante :

Après avoir préparé un papier de bromure d'argent, comme il a été dit ci-dessus, on le couvre d'une feuille de papier ordinaire, assez mince, et sur laquelle sont tracés des caractères; puis on l'expose peu de temps à la lumière. Si le papier restait ainsi longtemps exposé à la lumière, on trouverait l'écriture reproduite en blanc sur un fond noir; mais on ne le laisse que le temps nécessaire pour qu'il y ait un commencement d'action tel que le papier, vu avec une lumière dans la chambre obscure, paraisse presque blanc. Il suffit de quelques secondes d'exposition au soleil pour obtenir ce résultat. Cela fait, le papier restant dans l'obscurité ne se colore pas; mais, en projetant sur lui le spectre solaire, on voit au bout de quelque temps, dans les rayons verts, jaunes, orangés, apparaître l'écriture en blanc sur un fond

noir, tandis que le papier s'est coloré complétement dans les rayons bleus, indigo, violets et au delà, et que partout ailleurs le papier est resté blanc. Cette manière d'expérimenter montre bien la présence des *rayons continuateurs* dans la partie supérieure du spectre solaire.

§ II. DE L'ACTION DES ÉCRANS.

Je vais maintenant examiner, dans le cas que je considère, ce qui se passe lors de l'interposition d'écrans de diverse nature entre la lumière et le papier de bromure d'argent. Lorsque l'on place à la lumière, sous des écrans de verre coloré ou de différentes substances, du papier sensitif de bromure ou de chlorure d'argent, de manière qu'il ne puisse être impressionné que par les rayons qui ont traversé ces écrans, le sel d'argent se colore alors diversement suivant la nature de l'écran; et des papiers semblables placés sous divers écrans mettent des temps très-différents pour parvenir à une même phase de coloration. Ces faits ont été reconnus par plusieurs physiciens. C'est en cherchant à mesurer les différents temps que mettait le bromure d'argent pour parvenir à une même phase de coloration, dans des circonstances diverses, que j'ai été conduit à admettre les rayons chimiques *continuateurs* mentionnés plus haut. Voici le procédé que j'ai employé: j'avais remarqué qu'en prenant une même feuille de papier préparé avec le bromure d'argent et impressionnant une moitié de cette feuille à la lumière, si l'on taillait des bandes perpendiculaires à la ligne de démarcation des deux parties, impressionnée et non impressionnée, j'avais remarqué, dis-je, que, sur ces bandes exposées à la lumière diffuse ou solaire, la ligne de démarcation disparaissait quelque temps après leur exposition, ce qui indiquait que la partie non impressionnée s'était colorée plus vite que l'autre; il y avait donc un moment où, des deux côtés d'une même bande, la coloration était la même; j'avais de plus observé que, lorsqu'elles étaient placées à la lumière diffuse ou solaire, quelle

que fût l'intensité de cette dernière, entre certaines limites bien entendu, dès que la ligne de démarcation disparaissait, la teinte était la même dans toutes les bandes. Ce fait avait permis de reconnaître facilement le moment où, sous différents écrans, le papier parvenait à une même phase de coloration; car alors la ligne de démarcation disparaissait. Mais en opérant ainsi sous divers écrans, j'en ai trouvé qui agissaient de telle manière sur les rayons solaires, que la partie déjà impressionnée de la bande du papier sensitif continuait seule à se colorer, tandis que celle qui ne l'avait pas été primitivement restait blanche; ce sont ces résultats qui m'ont fait voir que la lumière possédait des rayons qui n'agissaient sur les sels d'argent qu'après une action commencée.

J'ai essayé ainsi un très-grand nombre d'écrans de verre coloré, et, autant que possible, plusieurs à la fois simultanément sur divers papiers, afin de pouvoir comparer les effets produits. En employant un verre rouge, qui ne laisse passer à peu près que les rayons lumineux rouges, après une demi-heure d'exposition au soleil, j'ai vu que la partie de la bande de papier qui avait été primitivement impressionnée par la lumière s'est colorée davantage (ce qui peut facilement se reconnaître au moyen d'un papier semblable resté dans l'obscurité), tandis que l'autre partie, qui n'avait pas été impressionnée, est restée complétement blanche: d'autres verres rouges plus clairs produisaient le même phénomène, mais seulement avec plus de rapidité.

Un verre vert foncé donne aussi les mêmes résultats, mais avec plus de lenteur que le premier verre rouge, tandis qu'un verre vert clair laisse passer en même temps des rayons chimiques excitateurs, de sorte qu'il est difficile de reconnaître en lui la même propriété. Voilà donc des verres de couleur rouge et verte, qui ne laissent passer complétement que les rayons continuateurs et qui sont imperméables aux rayons excitateurs.

Un verre jaune d'or foncé a d'abord laissé passer en très-grande abondance les rayons qui continuent l'action, ce que l'on recon-

naît par la coloration du côté de la feuille de papier primitivement impressionnée; mais l'action continuant ensuite, l'autre côté commence à se colorer aussi, ce qui montre que les autres rayons chimiques traversent aussi cet écran, mais en moins grande abondance. Un verre jaune moins foncé a produit le même phénomène et la coloration de la partie non impressionnée de la bande de papier s'est opérée plus rapidement que dans le cas précédent.

On ne peut distinguer ces deux ordres de rayons lors de l'interposition des verres blancs, violets, bleus, entre la lumière et le papier de bromure d'argent; car les deux portions de ce papier préparé comme précédemment, se colorant comme par l'effet de la lumière diffuse, ont bientôt pris la même teinte.

Par l'expérience suivante, analogue à celle que j'ai faite dans le spectre solaire, on peut rendre bien sensible l'action des rayons continuateurs. Si l'on prend un papier sensitif de bromure d'argent nouvellement préparé, dans une chambre parfaitement obscure, et que, plaçant dessus un papier écrit ou un dessin, on l'expose ainsi quelques instants à l'action de la lumière, de manière à ce que le papier soit impressionné, mais cependant que l'écriture ou le dessin ne paraisse pas encore, alors, en plaçant le papier sous un verre jaune d'or foncé ou sous un verre rouge assez clair pour que l'action marche plus vite, et l'exposant ainsi à la lumière, on voit peu à peu l'écriture ou le dessin paraître sur le papier, ce qui montre que les portions du papier déjà impressionnées se colorent, tandis que les autres restent blanches.

L'action des écrans, comme celle du spectre solaire, montre donc que l'on peut distinguer dans la lumière solaire au moins deux ordres de rayons chimiques qui influent sur les sels d'argent.

En interposant divers écrans liquides entre la lumière et un écran de verre jaune foncé ou rouge qui recouvrait une bande de papier sensible, j'ai cherché si ces liquides pourraient arrêter les rayons continuateurs. Parmi ceux que j'ai essayés, je n'en ai

trouvé aucun qui jouît de cette propriété; seulement j'ai reconnu qu'en interposant entre une bande de papier sensitif (moitié impressionnée et moitié non impressionnée) et la lumière un écran d'un liquide coloré en jaune foncé ou en rouge, telle qu'une solution de bichromate de potasse, une solution légère d'iode dans l'alcool, on reproduisait les mêmes phénomènes qu'avec les verres colorés jaunes ou rouges.

Dans toutes mes recherches, j'ai employé du papier préparé avec le bromure d'argent. Ce papier a l'avantage d'être plus sensible que celui de chlorure, quoique ce dernier présente les mêmes phénomènes; seulement, quand on expose le chlorure d'argent déjà impressionné à l'action des verres rouges, il prend une teinte rougeâtre que l'on avait déjà remarquée; mais, comme en faisant chauffer un papier de chlorure, on lui donne la même teinte, il est probable que cet effet est dû à l'action des rayons colorifiques.

Les plaques d'argent iodurées se comportent comme le chlorure et le bromure d'argent[1].

[1] On peut se servir des rayons continuateurs, et on s'en est servi dans ces derniers temps, pour continuer un dessin commencé sur des plaques iodurées dans la chambre obscure; il suffit de laisser la plaque au foyer pendant plusieurs secondes, si l'objectif est à court foyer, et de mettre ensuite la plaque au soleil sous un verre rouge pour que le dessin se continue. Il faut pour cela que la plaque ait été iodée comme à l'ordinaire, suivant le procédé de M. Daguerre, et à l'obscurité profonde. Les rayons continuateurs ne réussissent bien avec le mode de préparation des plaques où l'on emploie du chlorure d'iode, qu'en prenant des verres qui ne laissent passer que les rayons rouges extrêmes. Lors de l'action du verre rouge sur les plaques, l'action est telle qu'à la longue le dessin se marque sans qu'il soit besoin de la passer au mercure. Les faits renfermés dans ce mémoire indiquent les précautions à prendre pour avoir de bonnes épreuves à la chambre obscure. Comme la plaque iodurée n'est sensible qu'aux rayons chimiques, compris depuis le vert jusqu'au violet et même au delà, il s'ensuit que si, avant de mettre la plaque iodée dans la chambre obscure, on l'impressionne un peu, mais excessivement peu, alors elle deviendra sensible à l'action des rayons continuateurs, et des objets de couleur rouge, orangée, jaune, pourront être dessinés sur la plaque, puisque les rayons chimiques, qui ont la même réfrangibilité que ces rayons lumineux, agissent alors sur l'iodure d'argent.

De plus, si l'on veut dessiner un paysage, après avoir pris les précautions indiquées plus haut, en mettant devant l'objectif un verre légèrement coloré en vert ou en jaune, il est facile de concevoir que les feuilles vertes des arbres seront bien plus marquées sur la plaque, pourvu qu'elle reste exposée au foyer plus longtemps.

Le chlorure d'or ne produit pas ce phénomène; il ne peut pas avoir lieu, car Seebeck a vu qu'en enduisant un papier de chlorure d'or et le plaçant dans une chambre obscure, il ne changeait pas de couleur, et l'or n'était pas réduit; mais si, après une courte exposition à la lumière solaire, on vient à le rapporter dans l'obscurité avant qu'il ait été coloré par l'action des rayons chimiques, la réduction de l'or a lieu dans la chambre obscure et le papier passe par toutes les phases de coloration qu'il aurait traversées en restant exposé au soleil. On voit donc ici que l'action se continue à l'obscurité, tandis qu'avec les sels d'argent il ne se passe rien à l'obscurité et l'action se continue sous l'influence des rayons dont j'ai parlé plus haut, phénomène très-différent du premier.

Ni la résine de gaïac, ni l'acide chromique ne présentent les mêmes effets que les sels d'argent; et, quant à présent, je n'ai trouvé que ces sels qui eussent la propriété de continuer à être impressionnés par certains rayons dont les effets ont seulement pour but de continuer une action commencée par d'autres rayons. Ainsi ne pourrait-on pas expliquer par une propriété analogue les résultats différents obtenus par les trois expérimentateurs qui ont étudié l'action chimique du spectre solaire sur un mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène.

M. Bérard a dit, d'une part, que les rayons violets, ou du moins les rayons chimiques qui accompagnent les rayons violets étaient les plus efficaces pour opérer la combinaison; Davy, au contraire, a dit que c'étaient les rayons rouges, et M. Suckou d'Iéna a reconnu de l'efficacité à ces deux sortes de rayons. Ces différences ne proviennent-elles pas de ce que, les deux derniers physiciens n'ayant pas opéré dans une chambre parfaitement obscure, un commencement de combinaison avait eu lieu avant l'expérience, et avait continué par suite de l'action des rayons continuateurs?

§ III. DU RAYONNEMENT CHIMIQUE DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Le phénomène de continuation d'action sous l'influence de certains rayons m'a servi à pouvoir reconnaître et étudier le rayonnement chimique de l'étincelle électrique.

Brandt a observé, le premier, que le chlorure d'argent noircissait sous l'influence de la lumière électrique, comme lors de son exposition au jour. J'ai repris ses expériences et j'ai vu que la lumière électrique pouvait influencer le chlorure et plus rapidement le bromure d'argent. L'appareil que j'ai employé consiste en une boîte en carton percée de deux ouvertures latérales, par lesquelles passent deux tubes de verre; ces tubes servent à isoler deux tiges de cuivre pouvant transmettre l'électricité au milieu de la boîte ; les deux extrémités intérieures des tiges sont écartées de 5 millimètres; et, en dessous des extrémités, l'on peut placer un papier sensible recouvert d'un transparent, de sorte que, si la lumière électrique influence le papier, l'image soit imprimée sur ce papier. Les tiges sont tout au plus à 4 ou 5 millimètres du papier de bromure d'argent; en excitant entre les tiges trois à quatre décharges d'une batterie de quatre jarres, et en regardant ensuite le papier, on voit une empreinte du transparent. Deux décharges de la batterie employée colorent un peu le papier, tandis qu'une seule n'est pas assez forte pour l'impressionner sensiblement; mais ensuite en exposant ce papier à la lumière solaire sous un verre rouge ou jaune d'or, on voit peu à peu l'empreinte du transparent paraître, ce qui montre que les rayons chimiques continuateurs accompagnant la lumière solaire continuent aussi une impression commencée par l'action de la lumière électrique; avec le chlorure d'argent, il faut trois à quatre décharges pour avoir un commencement de coloration.

La simple étincelle peut aussi impressionner le papier, mais il faut en exciter un grand nombre entre les tiges de cuivre.

J'ai examiné l'influence des écrans interposés entre le papier

sensible et la lumière électrique. A cet effet, j'ai employé les verres colorés qui avaient déjà servi pour la lumière solaire, c'est-à-dire des verres blancs, violets, bleus, jaunes, rouges. Plusieurs portions de papier ont été taillées dans une feuille de papier de bromure d'argent, puis mises successivement au fond de la boîte, sous un transparent couvert d'un des verres colorés. On a ensuite fermé la boîte avant chaque expérience et excité successivement deux décharges de la batterie de quatre bocaux chargés à 20° de l'électromètre à balles. En examinant ensuite, à l'aide d'une lumière, dans une chambre obscure, ces divers papiers, il n'y avait d'empreinte visible que sur celui qui avait été frappé directement par la lumière électrique; les autres étaient restés parfaitement blancs; mais il y avait toujours eu commencement d'action, car, en les plaçant sous un verre rouge et les exposant à la lumière solaire, on a vu peu à peu la plupart des papiers présenter une image colorée du transparent. Après un temps suffisant pour colorer les parties qui avaient reçu un commencement d'impression, on a examiné de nouveau les différents papiers; ceux qui avaient été placés sous les verres blancs, violets, bleus, étaient tous colorés, du moins de l'empreinte du transparent, tandis que ceux qui avaient été exposé à l'action de l'étincelle sous les verres jaunes, rouges, ne présentaient aucune coloration. On voit donc que les premiers écrans avaient laissé passer une partie de la radiation chimique de la lumière électrique, mais qu'il fallait une action postérieure de certains rayons pour faire paraître une coloration sur le papier sensible.

J'ai cherché, à l'aide de verres colorés, si la lumière électrique, de même que la lumière solaire, contenait deux ordres de rayons chimiques, les uns continuant seulement une action commencée par les autres, mais je n'ai obtenu aucun résultat satisfaisant.

Des recherches consignées dans le mémoire que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie, on peut tirer les conséquences suivantes :

1° Les rayons chimiques de la lumière solaire qui agissent sur

RECHERCHES

SUR

LA DISPOSITION

DES NERFS DE L'UTÉRUS,

ET

APPLICATION

DE CES CONNAISSANCES À LA PHYSIOLOGIE ET À LA PATHOLOGIE DE CET ORGANE;

PAR M. LE Dr JOBERT DE LAMBALLE.

PRÉSENTÉES À L'ACADÉMIE LE 17 MAI 1841.

L'utérus est, sans contredit, celui de tous les organes qui a le plus occupé les anatomistes, et cependant on est loin d'être fixé sur sa composition intime et sur la nature des tissus qui entrent dans sa structure. Notre intention, dans ce travail, est de rechercher spécialement la distribution des nerfs de l'utérus, ainsi que les modifications qu'ils peuvent subir suivant les âges.

Un coup d'œil jeté sur la manière dont les auteurs ont envisagé la question que nous cherchons à approfondir suffit pour démontrer combien les opinions sont divergentes.

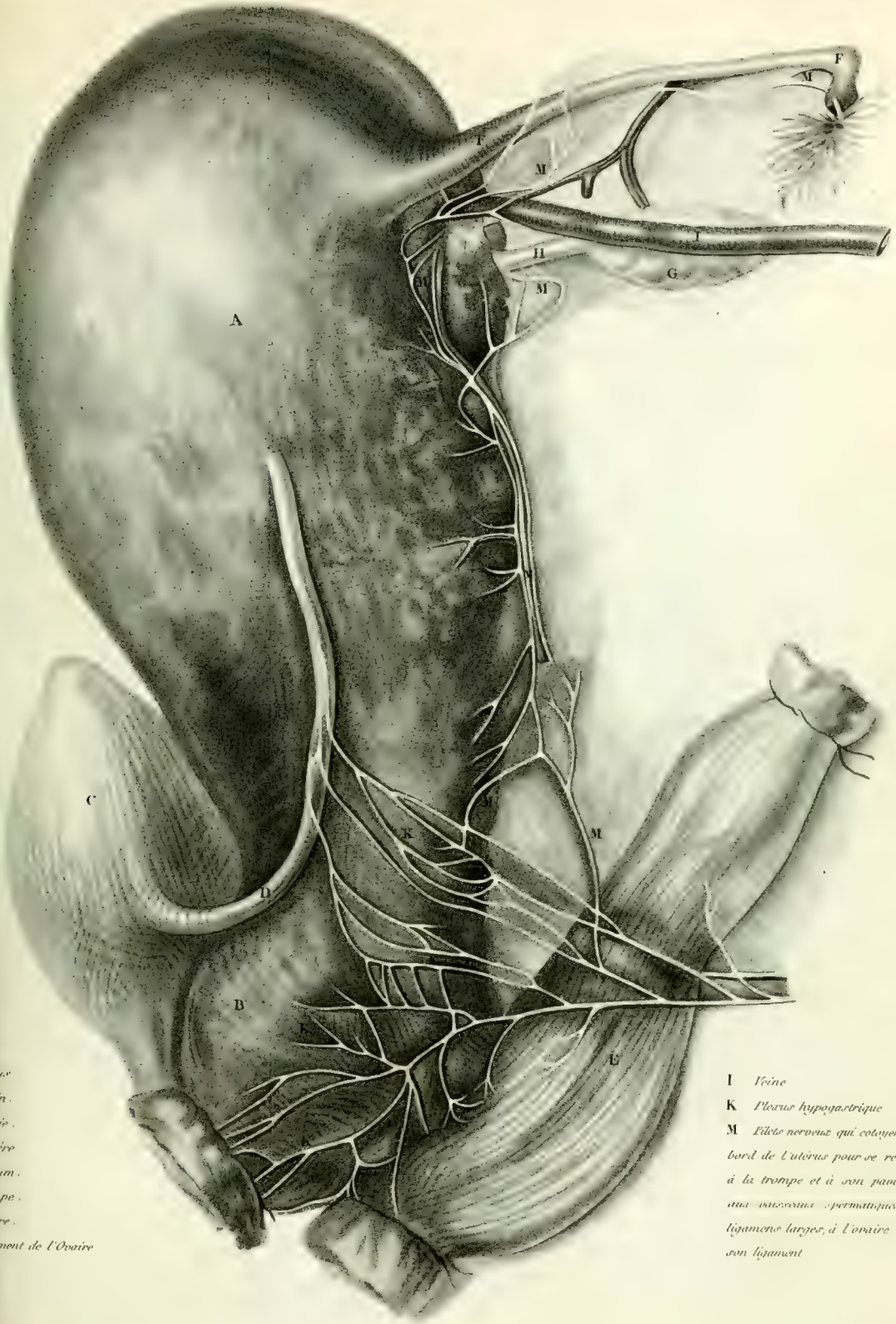
Galien admettait l'existence des nerfs de l'utérus, car il reconnaissait dans la matrice de la sensibilité et de la contractilité;

les sels d'argent comprennent *au moins* deux ordres de rayons: d'abord les rayons chimiques ordinaires, que j'ai nommés rayons *excitateurs*, puis d'autres rayons que j'ai nommés rayons *continuateurs*, ou qui ne font que continuer une action déjà commencée sous l'influence des premiers.

2° Ces rayons continuateurs sont placés dans la partie supérieure du spectre solaire, c'est-à-dire qu'ils accompagnent les rayons orangés, jaunes, verts, peut-être aussi les rayons bleus, les moins réfrangibles; mais, dans ce dernier cas, ils se confondent avec les premiers (les rayons excitateurs); on sait, en effet, que ceux-ci accompagnent généralement les rayons les plus réfrangibles de la lumière, et il y en a qui, dans le spectre solaire, sont même au delà du violet.

3° Lors de l'action des écrans, il s'en trouve qui laissent passer, les uns seulement les rayons continuateurs, les autres, les deux ordres de rayons.

4° Les rayons continuateurs achèvent aussi une action chimique commencée sous l'influence de la lumière électrique, et peuvent servir à reconnaître et à analyser l'action chimique de la lumière électrique ou, du moins, de l'agent chimique qui l'accompagne.

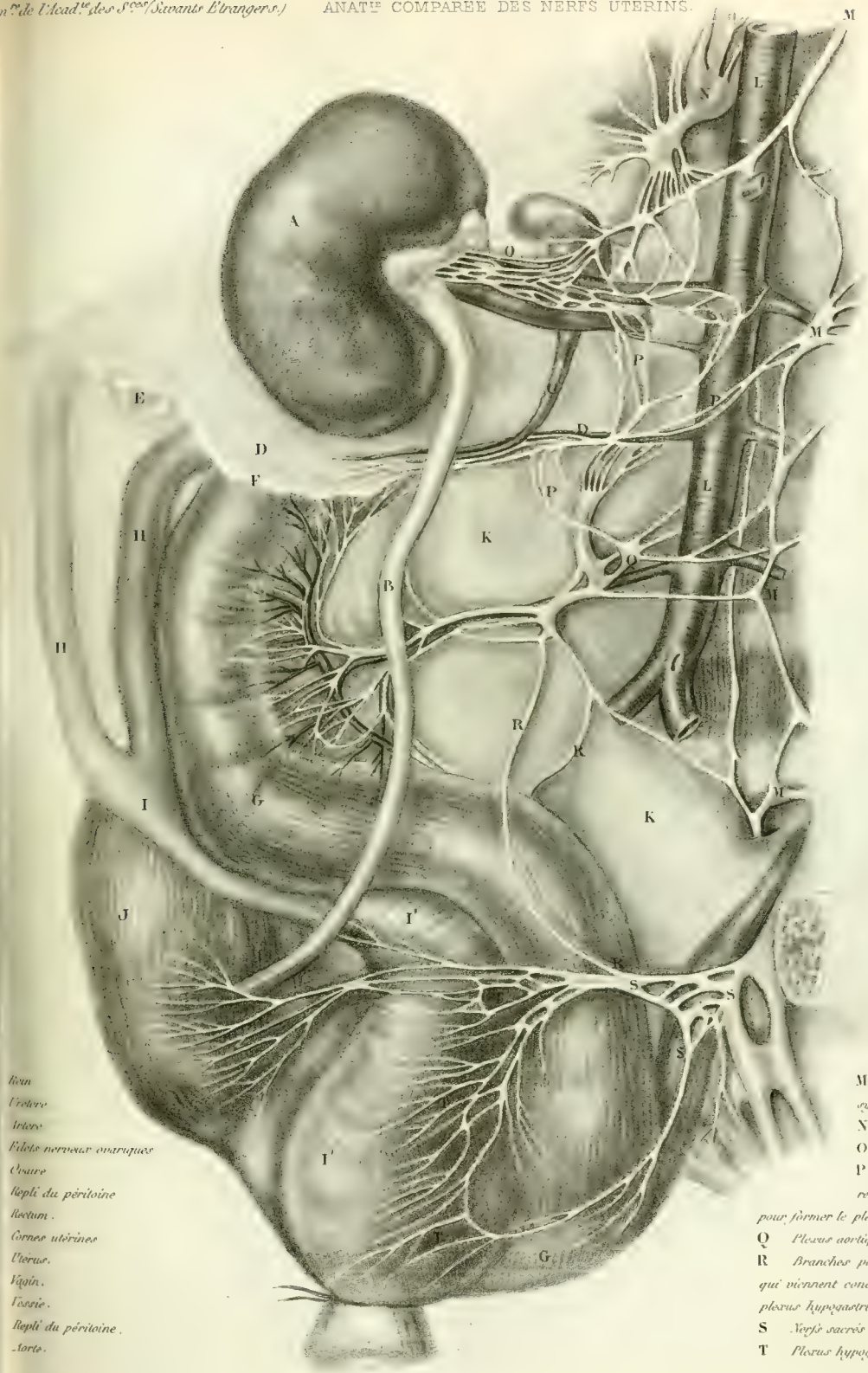


A *Uterus*
B *Vagin.*
C *Vessie.*
D *Uretère*
E *Rectum.*
F *Trompe.*
G *Ovaire.*
H *Ligament de l'Ovaire*

I *Veine*
K *Plexus hypogastrique*
M *Filets nerveux qui cotoyent le bord de l'utérus pour se rendre à la trompe et à son pavillon aux vaisseaux spermatiques aux ligamens larges, à l'ovaire et à son ligament*

Berromee dir

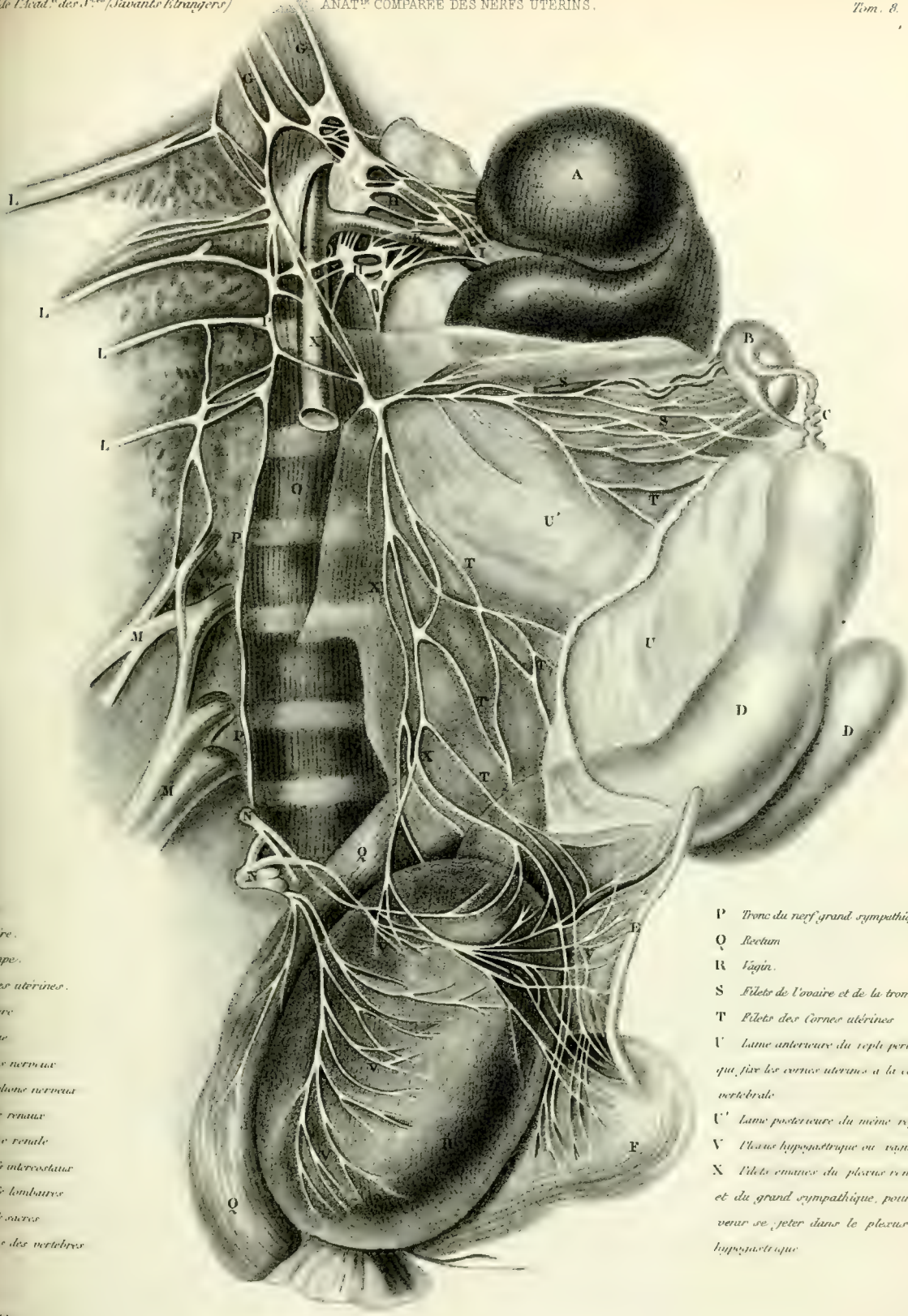
Utérus d'une femme accouchée depuis quelques jours.



A *Rein*
B *Uretere*
C *Artere*
D *Filets nerveux ovariques*
E *Ovaire*
F *Repli du péritoine*
G *Rectum.*
H *Cornes utérines*
I *Uterus.*
J *Vagin.*
K *Vessie.*
L *Repli du péritoine.*
M *Aorte.*

M' *Tronc du nerf grand sympathique*
N *Ganglions nerveux*
O *Plexus rénal*
P *Filets venus du plexus rénal et du gr.d sympatique pour former le plexus aortique*
Q *Plexus aortique*
R *Branches parties du plexus aortique qui viennent concourir à la formation du plexus hypogastrique*
S *Nerfs sacrés*
T *Plexus hypogastrique ou vaginal*

Plexus Hypogastrique de la Chienne.



Ilion
Ovaire.
Trompe.
Cornes utérines.
Uretere
Vessie
Filets nerveux
ganglions nerveux
Nerfs rénaux
Artère rénale
Nerfs intercostaux
Nerfs lombaires
Nerfs sacrés
Corps des vertebres

P *Tronc du nerf grand sympathique*
Q *Rectum*
R *Vagin.*
S *Filets de l'ovaire et de la trompe*
T *Filets des Cornes utérines*
U *Lame anterieure du repli peritoneal qui fixe les cornes uterines a la colonne vertebrale*
U' *Lame posterieure du meme repli*
V *Plexus hypogastrique ou vaginal*
X *Filets emanés du plexus rénal et du grand sympathique, pour venir se jeter dans le plexus hypogastrique*

Imprimé [illegible]

Borromée dir.

Plexus Hypogastrique de la Jument.

Fig. 1.

Fig 1 E *Uterus*
F *Trompe*
G *Ovaire*
H *Veine spermatique*
I *Nerfs spermatiques*

Fig 2

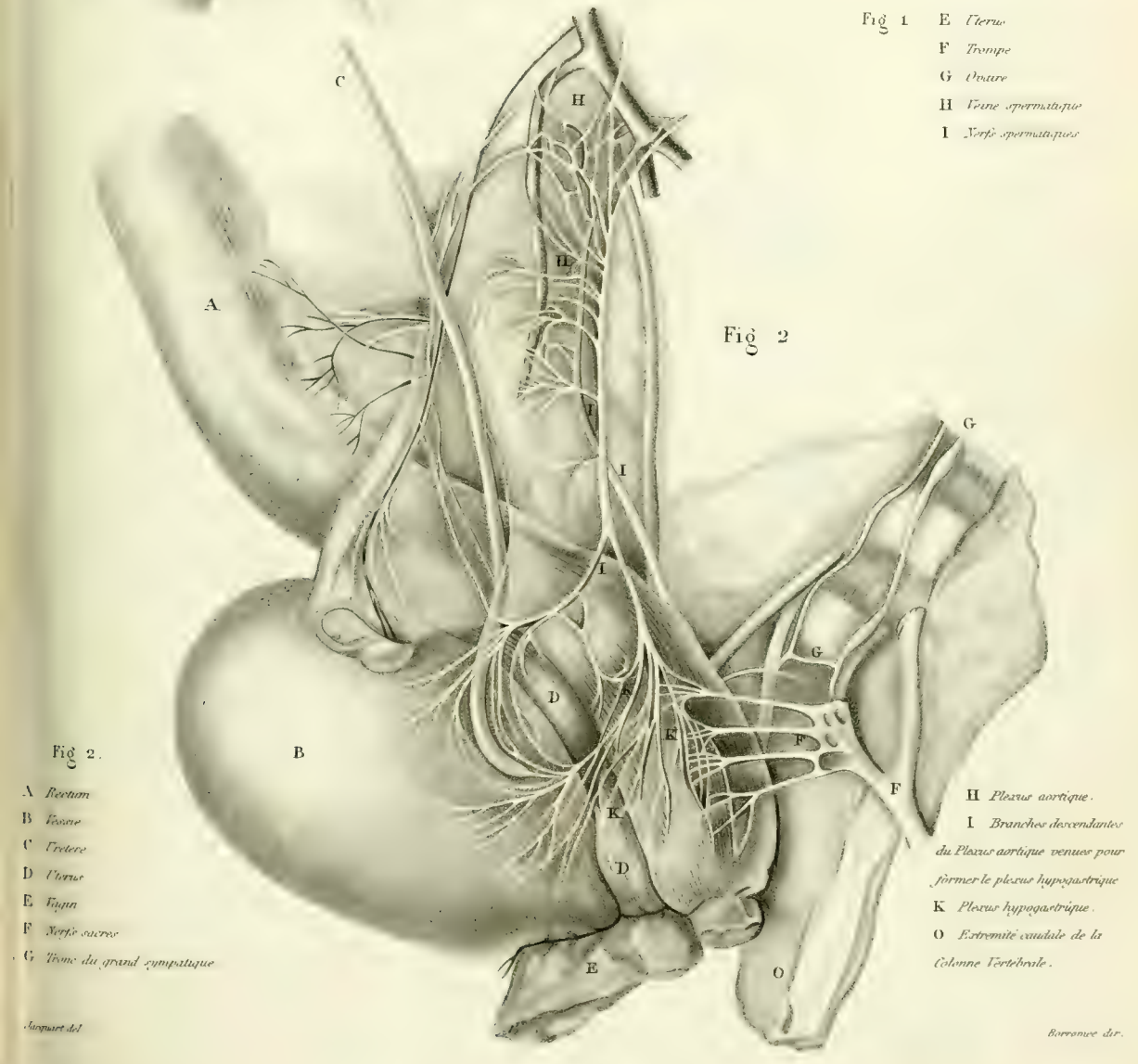


Fig 2.

A *Rectum*
B *Vessie*
C *Prétere*
D *Uterus*
E *Vagin*
F *Nerfs sacrés*
G *Tronc du grand sympatique*

H *Plexus aortique.*
I *Branches descendantes du Plexus aortique venues pour former le plexus hypogastrique*
K *Plexus hypogastrique.*
O *Extremité caudale de la Colonne Vertébrale.*

Jacquart del. Borromee dir.

Fig. 1. Volume des nerfs utérins d'une femme très âgée. — Fig. 2. Plexus hypogastrique de la femelle du Singe

mais il ajoutait qu'ils étaient très-petits, relativement au volume de l'organe.

Jusqu'au milieu du XVI^e^ siècle, aucun écrit n'est publié sur la disposition des nerfs de l'utérus; c'est à peine si vers la fin du XVI^e^ siècle se répandent quelques notions sur ce point curieux et intéressant d'anatomie humaine : dans le XVII^e^ on ne s'occupe pas beaucoup plus de cette question.

Willis connaissait les nerfs hypogastriques et sacrés, et avait indiqué et décrit les nerfs ovariques.

Reusse, Daventer, Winslow, Saltzmann, admettent, mais sans autres détails, l'existence des nerfs de l'utérus.

Walter fit dessiner une planche dans laquelle sont représentés les nerfs de la matrice lorsqu'elle est dans l'état de vacuité : ce sont de petits filaments grêles et peu nombreux qui émanent du plexus hypogastrique.

Graaf décrit la disposition et indique l'origine des nerfs qui se rendent à la face postérieure du col, et se ramifient ensuite sur le corps et le fond; mais dans la planche qu'il a laissée sur ce sujet, il paraît s'être bien plus attaché à représenter la distribution des artères que celle des nerfs.

Haller n'a étudié les nerfs de l'utérus que dans l'état de vacuité.

W. Hunter les étudia lors de la gestation, et il leur attribua un développement pareil à celui des artères et des veines. Il supposait que, comme ces vaisseaux, les nerfs s'élargissaient pendant la grossesse.

J. Hunter n'admet pas cette particularité, et malheureusement, de même que W. Hunter, il ne laisse aucune planche des dissections qu'il entreprit.

Les auteurs qui croyaient à la possibilité de ce développement lors de la grossesse expliquaient la violence des contractions utérines par ce surcroît d'influence nerveuse, tandis que les adversaires de cette opinion avaient imaginé, pour se rendre compte de cette contractilité, une force particulière, *vis insita*.

Nous croyons devoir transcrire l'opinion de J. Hunter. Il di-

sait que pendant la grossesse l'utérus augmente cinquante fois au moins de son volume, et que cet accroissement se fait *sur la matière animale vivante, laquelle est capable d'action en elle-même;* en un mot, il admet que l'influence nerveuse n'est pour rien dans le développement qui s'opère dans cette circonstance, et que les vaisseaux y jouent seuls un rôle important.

Tiedemann a fait connaître mieux qu'aucun autre anatomiste la disposition des nerfs de l'utérus, qu'il a fait représenter dans deux planches : dans l'une sont dessinés les nerfs ovariques, et dans l'autre les nerfs qui accompagnent les artères utérines. Il démontre parfaitement les anastomoses qui lient ces nerfs d'origine différente. Les nerfs utérins qui naissent du plexus hypogastrique accompagnent l'artère utérine, et on les voit se distribuer sur la face postérieure de la matrice : c'est, du reste, à peu près la même distribution que celle indiquée dans la planche de Graaf; en outre, Tiedemann admet que les nerfs de l'utérus prennent du développement lors de la puberté, et surtout pendant la grossesse, et qu'ils diminuent ensuite lorsque la vieillesse survient.

Lobstein, dans un ouvrage publié, en 1822, sur le nerf grand sympathique, nie encore l'existence des nerfs de l'utérus.

Langenbeck a figuré dans une planche les nerfs ovariques et utérins sur une matrice vide.

Osiandre dit que la présence et la disposition des nerfs dans l'utérus n'ont pas été suffisamment démontrées, et que s'il les admet, c'est plutôt sur la foi des anatomistes qui prétendent les avoir disséqués que pour les avoir vus lui-même; du reste, ajoute-t-il, beaucoup d'autres personnes n'ont pas été plus heureuses. Cependant, considérant l'irritabilité dont jouit la matrice, il est d'avis qu'on doit admettre ces nerfs, que l'on ne saurait que difficilement retrouver et suivre le scalpel à la main.

Sœmmering indique, comme se rendant à l'utérus, des filets qui proviennent du plexus mésentérique inférieur, ainsi qu'un nerf spécial allant à l'utérus et à la vessie.

M. Cruveilhier dit : « Les nerfs utérins viennent de plusieurs sources. J'ai déjà dit que le plexus qui entoure l'artère ovarique, et qui est une émanation du plexus rénal, se partage comme l'artère qui lui sert de support entre l'utérus et l'ovaire. Il m'a paru qu'il en est de ces nerfs comme des vaisseaux, c'est-à-dire que les nerfs utérins qui viennent du plexus ovarique sont plus considérables que les nerfs ovariques proprement dits. Les nerfs tubaires en sont une émanation.

« Les nerfs utérins qui proviennent du plexus hypogastrique se divisent : 1° en ascendants, lesquels se dirigent de bas en haut, le long du bord de l'utérus, et se portent les uns en avant, les autres en arrière, et s'épuisent dans l'épaisseur de l'organe ; 2° en descendants qui longent les côtés du vagin et se terminent dans son épaisseur. »

M. Blandin dit : « Les nerfs de l'utérus émanent du plexus hypogastrique et du plexus ovarique du grand sympathique. »

Cuvier admet qu'ils naissent du grand sympathique et des nerfs sacrés.

Madame Boivin et M. Dugès citent les recherches de Tiedemann, et s'en rapportent aux descriptions qu'il a données des nerfs utérins ; ils indiquent, en outre, ceux qui proviennent du plexus rénal, et ceux qui sont fournis en plus grande partie par les ganglions lombaires ; en un mot, ils décrivent les filets ovariques qui viennent gagner le fond de l'utérus, et les rameaux qui, émanant du plexus hypogastrique et sacré, suivent les artères utérines, et sont destinés seulement au col, au vagin et à la vessie.

M. Velpeau dit « que les nerfs de l'utérus viennent du plexus sacré et du système ganglionnaire par les plexus rénaux et hypogastriques. Les premiers se distribuent presque entièrement au col, et il est naturel de leur attribuer l'excès de sensibilité dont jouit cette partie, tandis que les seconds, n'étant destinés là, comme partout ailleurs, qu'à la sensibilité végétative, devaient être répartis régulièrement dans toute l'étendue de l'utérus. »

Tel était sur cette question l'état de la science, lorsque cette année M. Robert Lee fit paraître à Londres un travail sur les nerfs de l'utérus, avec deux planches destinées à représenter le trajet et le volume des nerfs de cet organe. Cet auteur a eu principalement pour but de démontrer que les plexus hypogastriques et les nerfs de l'utérus augmentent pendant la grossesse, et diminuent graduellement après l'accouchement. Il pense que le développement de ces nerfs est en rapport avec celui des artères et l'accomplissement des fonctions de l'utérus.

Ce médecin a examiné les nerfs utérins dans les circonstances suivantes :

1° Sur une femme enceinte de 3 mois;
2° ——————— de 4 mois;
3° ——————— de 6 mois;
4° ——————— de 7 mois;
5° ——————— de 8 mois;
6° Sur deux femmes à terme;
7° Sur une femme accouchée depuis dix jours;
8° Sur une femme d'un âge moyen, dont la matrice était vide;
9° Enfin sur une jeune fille qui n'avait jamais conçu.

Chez la femme d'un âge moyen, les plexus aortiques et hypogastriques étaient beaucoup plus petits que chez les femmes dont l'utérus était rempli du produit de la conception.

Il a, en outre, noté que, chez la jeune fille qui n'avait pas conçu, les nerfs étaient plus volumineux que chez la femme d'un âge plus avancé.

Sur la femme qui fut disséquée dix jours après l'accouchement, les plexus hypogastriques, et les nerfs qui se rendent sur la surface antérieure et postérieure de l'utérus, paraissaient avoir sensiblement perdu de leur volume, si on les comparait aux nerfs de l'utérus des femmes parvenues aux sixième et septième mois de la gestation; ce qui prouve, suivant l'auteur, que ces nerfs,

après avoir rempli leurs fonctions temporaires, tendent à reprendre leur volume primitif.

Sur une femme à terme, il a remarqué que tous les nerfs de l'utérus paraissaient élargis.

Sur la femme enceinte de quatre mois, les nerfs étaient moins volumineux qu'à une époque plus avancée de la grossesse; mais cependant leur développement était évident : ils s'étaient aussi élargis.

Une injection poussée préalablement dans les artères utérines facilita beaucoup ses dissections; il put suivre plus sûrement les nerfs dans leur trajet, et même jusque dans le col utérin et dans le fond de la matrice.

Sur une femme grosse de trois mois, il nota aussi l'élargissement des filets utérins de la face antérieure du col, où ils représentent une espèce de *ganglion*.

Nous passons actuellement à l'exposition de nos recherches sur ce point.

Comme les anatomistes modernes, nous admettons que le plexus hypogastrique plongé dans le bassin, et formé par des filets antérieurs de la partie sacrée du grand sympathique, par les plexus aortiques et mésentériques inférieurs, et par des filets du plexus sacré fournis par la cinquième et la sixième branche, envoie à la matrice les rameaux qu'elle reçoit, et qui sont par conséquent de deux ordres. Les uns, en effet, communiquent immédiatement avec la moelle épinière, et appartiennent au système nerveux dit de la vie animale, et les autres au système de la vie organique ou au grand sympathique.

L'existence des nerfs de l'utérus étant incontestable, il s'agit de rechercher à quel point de l'utérus ils vont se rendre. Gagnent-ils tous les tissus, et se rendent-ils à toutes les régions de la matrice? Doit-on assigner une terminaison différente aux nerfs qui émanent de la moelle épinière et à ceux qui naissent du grand sympathique? Ce sont là autant de questions dont la solution nous paraît d'un grand intérêt, et qui ont été souvent

résolues d'une manière différente par des anatomistes également habiles.

Avec un peu de soin et de patience, on vient à bout de suivre les filets nerveux utérins, principalement dans le trajet des artères et des veines qu'ils enlacent, pour ainsi dire. Tous ces filets peuvent être distingués en superficiels et profonds. Les uns gagnent les côtés de l'utérus en marchant dans l'épaisseur des ligaments larges. De nombreux rameaux sillonnent la face antérieure et postérieure de l'utérus, en abandonnant dans leur trajet des filets au péritoine de ces régions. Quant aux filets profonds, ils accompagnent, comme nous l'avons dit, les vaisseaux utérins; mais des branches de tous côtés naissent dans ce trajet pour traverser obliquement les plans musculaires, en formant des espèces de coudes, à la manière des filets nerveux qui forment des anses sur les muscles dans les autres parties du corps.

J'ai voulu disséquer les filets nerveux jusqu'à la face interne et sur la membrane muqueuse de la matrice; mais je n'ai pu y réussir, quoique je les aie suivis à une grande profondeur.

Il n'en est pas des nerfs du plexus sacré comme des nerfs des autres parties du corps qui s'anastomosent avec des filets du grand sympathique, et qui n'en sont pas moins distincts jusqu'à leur terminaison. Je veux dire que les filets sacrés, après avoir rencontré les nombreuses branches fournies par le grand sympathique, échangent tellement leurs filets pour constituer le plexus hypogastrique, qu'il est impossible à l'anatomiste le plus habitué aux dissections et à l'œil le plus exercé de distinguer entre eux les filets nés des deux sources dont nous venons de parler, au moment où ils émergent du plexus hypogastrique pour gagner l'utérus et ses annexes.

C'est assez dire que nous pensons qu'on a légèrement admis que les filets du plexus sacré venaient se rendre à la partie qu'on est convenu d'appeler la plus sensible, le col. Bien plus, j'ajouterai qu'il m'est démontré par l'anatomie humaine et com-

parée que précisément la partie de l'utérus qu'on a regardée comme recevant le plus de nerfs n'en reçoit aucun.

J'établirai cependant une distinction au sujet du col de l'utérus, qui me permettra de fixer plus clairement les limites de l'influence nerveuse. Toute la partie du col qui est entourée par le vagin et qui fait saillie dans ce conduit, et qu'on appelle le museau de tanche, ne reçoit aucun filet nerveux, tandis que la portion qui se trouve au-dessus de l'insertion vaginale est sillonnée par un grand nombre de branches nerveuses qui forment comme des espèces de plexus, lesquels fournissent des branches ascendantes ou utérines, et descendantes ou vaginales. Celles-ci sont extrêmement nombreuses et se ramifient à l'infini dans l'épaisseur des parois du vagin.

On demandera comment il se fait qu'une partie d'un organe ou sa presque totalité reçoive des filets nerveux, tandis que le reste n'en reçoit aucun. Je répondrai qu'ici l'explication est plus facile que pour d'autres organes qui présentent les mêmes dispositions anatomiques. Le vagin, en effet, par son mode d'insertion, rendrait compte de l'absence de filets nerveux dans le museau de tanche, si l'inspection anatomique, qui donne un extrême degré de certitude, n'était venue la démontrer. Les filets nerveux fournis par le plexus hypogastrique gagnent le vagin, qui embrasse le col de l'utérus, et se perdent dans son épaisseur. On comprend facilement qu'ils ont plus de tendance à suivre la direction du vagin qu'à parvenir au museau de tanche.

Les nerfs de l'utérus augmentent-ils temporairement pendant la grossesse comme l'ont pensé Tiedemann, M. Robert Lee, et plusieurs anatomistes, ou bien restent-ils dans le même état?

J'ai cherché à m'éclairer sur ce point délicat d'anatomie, et à différentes reprises, sur des utérus humains et de divers animaux, j'ai suivi les nerfs dans l'état de vacuité et de plénitude de l'organe. J'ai disséqué aussi des utérus de femmes mortes six et dix jours après l'accouchement, et je n'ai pas eu une seule fois l'occasion de constater l'accroissement momentané de ces

nerfs. J'ai seulement remarqué que dans ces cas leur dissection était plus facile, et cela sans aucun doute à cause de l'hypertrophie des tissus et de la grande quantité de liquide qui les baigne. Disons cependant qu'au premier abord on pourrait penser que les nerfs ont pris un développement réel, et, si l'on se bornait à une simple inspection visuelle, on croirait facilement qu'ils participent à l'état d'hypertrophie générale de la matrice. Mais en les examinant avec soin, on voit qu'ils sont entourés d'un tissu cellulaire infiltré qui leur donne l'apparence rubanée. Mais autour des artères, on ne peut plus invoquer la trame cellulaire pour expliquer ce prétendu élargissement; dans ce cas, j'ai reconnu que le névrilème qui les accompagne dans l'épaisseur du viscère est lui-même dans un état d'infiltration qui leur donne ce volume anomal dont on a tant parlé.

Je crains encore que les auteurs qui ont cru trouver un développement des nerfs utérins pendant la grossesse ne s'en soient laissé imposer par le développement d'artérioles qui, suivant le trajet des nerfs, peuvent devenir la source d'erreurs, si on ne les examine avec le plus grand soin. Du reste, sur les animaux, j'ai obtenu les mêmes résultats : je n'ai rencontré aucune différence dans les nerfs des utérus vides ou pleins.

Nous avons fait dessiner les nerfs de l'utérus sur des femmes de différents âges, et dans les diverses conditions de vacuité et de plénitude, et l'on pourra constater sur ces planches la vérité de nos assertions.

DISSECTIONS SUR DIVERSES ESPÈCES D'ANIMAUX.

1° Dans la femelle du singe, les nerfs qui vont à l'utérus sont fournis comme dans la femme par le nerf grand sympathique et le plexus sacré; ils gagnent de même le col utérin et se divisent en rameaux ascendants et en descendants ou *vaginaux*. Dans cet animal, le plexus hypogastrique offre proportionnellement un volume plus considérable et des filets plus nombreux. C'est ainsi

que j'ai pu compter jusqu'à six et sept branches venant du plexus sacré, et concourant avec les filets du grand sympathique à former cet admirable plexus qui envoye des nerfs aux ligaments larges, à l'ovaire, au rectum, au col de la vessie, aux uretères et dans le vagin.

Les nerfs fournis par le grand sympathique, dans le singe, viennent les uns fort petits et peu nombreux immédiatement du tronc du nerf, dans la région sacrée, d'où ils se rendent dans le plexus sacré avec lequel ils s'anastomosent; ce n'est qu'en y mettant une extrême attention que nous avons pu suivre quelques-uns de ceux-ci sur les côtés du rectum où ils se perdent dans le plexus hypogastrique : les autres viennent du plexus aortique, sous forme de deux gros cordons, l'un droit et l'autre gauche, marchant le premier derrière le rectum, le second sur ses côtés, contenus qu'ils sont dans le méso-rectum. Bientôt ils s'épanouissent en arrière et sur les côtés de cet organe, en se confondant avec les branches du plexus sacré, lesquelles, au nombre de cinq ou six, croisent la direction des côtés de l'intestin, accompagnées par des lanières d'aponévroses, des veines et des artérioles.

Nous avons vu une branche remarquable fournie encore par le plexus sacré, destinée à la partie inférieure du rectum, au col de la vessie, et qui cependant envoie quelques filets au vagin.

Des branches du plexus aortique donnent dans leur trajet des filets aux trompes, aux ligaments larges, à l'ovaire et aux uretères.

Le plexus hypogastrique, ainsi formé dans la femelle du singe, donne naissance à de nombreux rameaux qui, pour la plupart, appartiennent aux nerfs de la vie animale, et se répandent sur le rectum, la vessie et son col, et en très-grande quantité se plongent dans l'épaisseur du vagin. Le corps de l'utérus en reçoit un bien moins grand nombre. On peut facilement les suivre dans ces deux organes, et je n'ai cependant pu en voir aucun gagner le col de l'utérus.

2° Dans la jument, le vagin et l'utérus sont musculaires au plus haut degré à toutes les périodes de la vie; aussi y rencontre-t-on un grand nombre de nerfs. Le vagin en reçoit proportionnellement plus que dans la race humaine. Toutes les branches spermatiques qui, dans la femme, sont fournies en partie par le plexus rénal, en partie par le plexus aortique, émanent exclusivement dans la jument des gros ganglions du plexus rénal, et ce n'est qu'indirectement que des branches venues du tronc même du nerf se confondent avec les rameaux qui naissent du précédent plexus.

Au niveau de l'artère spermatique naît une branche nerveuse fournie par le tronc principal, qui croise la direction de l'uretère et suit à peu près le trajet de l'artère ovarique, se distribue à l'ovaire et gagne ensuite le ligament sous-lombaire et la corne utérine correspondante. Cette branche, d'abord indivise, se partage à quelque distance de l'ovaire en trois ou quatre rameaux, qui eux-mêmes se subdivisent, de manière à former un réseau nerveux distinct, et dont les filets se rendent aux organes que nous venons de citer. Le reste du tronc nerveux suit l'uretère en fournissant, dans son trajet, des cordons qui se réunissent par arcade, de manière à constituer des espèces d'anses, entre lesquelles existent des espaces plus ou moins considérables. Les rameaux qui suivent l'artère utérine et qui se rendent aux cornes et au vagin, lorsqu'ils arrivent à ces organes, s'y terminent en pinceaux.

Ce long cordon nerveux suit le ligament sous-lombaire en jetant des filets dans le peritoine qui le forme. Il semble par sa longueur et son trajet imiter le grand sympathique, avec cette différence toutefois qu'on ne rencontre dans toute son étendue aucune trace de ganglions.

Arrivé à l'extrémité utérine du vagin, ce cordon se divise en beaucoup de rameaux, dont les uns gagnent la vessie et les feuillets du péritoine, et dont les autres, plus nombreux, viennent se confondre avec cinq ou six rameaux qui émanent des

branches antérieures des nerfs sacrés, de manière à constituer le plexus hypogastrique.

Les ganglions du grand sympathique n'envoient aucune branche directement à ce plexus, mais quelques rameaux seulement aux branches antérieures des nerfs sacrés. Par l'insufflation de la vessie et du vagin, il a été facile d'apprécier l'importance de ce plexus, de constater la distribution de ses branches et sa véritable situation. Nous avons pu reconnaître que le vagin reçoit le plus grand nombre de ses filets, et qu'il est situé sur ses parties latérales. Aussi pensons-nous qu'il serait plus convenable de le désigner sous le nom de plexus *vaginal*.

Disons encore que les filets du grand sympathique se terminent principalement dans l'ovaire, les trompes et les cornes de l'utérus, et que les branches fournies par les nerfs sacrés vont spécialement au vagin. Du reste, nous n'avons vu aucun nerf se rendre dans le col de l'utérus.

3° Dans la chienne les nerfs grands sympathiques sont très-volumineux. Ils marchent sur les côtés de la colonne vertébrale, et se joignent au niveau de la première vertèbre sacrée. Ils présentent dans leur trajet une série de renflement d'où naissent des branches ou des filets de communication qui, passant au-devant de l'aorte, vont contribuer à la formation des plexus rénal et aortique, d'où partent des filets destinés au gros intestin, à l'utérus, au vagin, au repli mésentérique.

Les rameaux ovariques viennent de la partie supérieure du plexus aortique, d'un ou de plusieurs ganglions rénaux. Ils marchent entre les replis du péritoine qui s'étendent du rein à l'ovaire, accompagnent les vaisseaux ovariques et se perdent dans l'ovaire et les cornes correspondantes.

Tout à fait à la partie inférieure naissent, tantôt du plexus aortique, tantôt d'un ganglion libre contenu entre les replis du péritoine, comme je l'ai vu dans une de mes dissections, deux gros troncs principaux, l'un gauche, l'autre droit, qui, après avoir reçu un filet du grand sympathique à sa terminaison, viennent, en

se plongeant dans le bassin et en se réunissant à cinq ou six rameaux des branches antérieures des nerfs sacrés, former une anse à concavité supérieure et à convexité inférieure. Peu de branches naissent de la concavité : mais la convexité en fournit un grand nombre, dont les unes accompagnent les uretères et vont se rendre à la vessie et à son col, et le plus grand nombre forment un beau plexus destiné au vagin, à l'utérus et au rectum.

Le plexus hypogastrique ou vaginal, d'une largeur remarquable, envoie un certain nombre de filets à la vessie, un plus grand nombre au rectum et une quantité plus grande encore au vagin. On peut dire hardiment que plus de la moitié des filets sont destinés spécialement à ce dernier organe.

Parmi les nerfs destinés au vagin, les uns gagnent sa portion utérine, et, rejoignant l'artère du même nom (utérine), suivent son trajet en formant autour d'elle de petites anses à concavité supérieure ; les autres se perdent dans l'épaisseur du vagin en suivant obliquement sa direction ; d'autres enfin très-nombreux vont à l'extrémité vulvaire et représentent là des réseaux.

Il est une autre branche qui ne vient pas du plexus hypogastrique, mais bien de la partie inférieure des branches fournies par les nerfs sacrés et qui se dirige sur le côté du rectum, le contourne pour gagner l'extrémité vulvaire du vagin, et s'anastomose là par de nombreux filets avec les branches descendantes du plexus vaginal, en formant une anse à concavité supérieure. Cette dernière branche fournit dans son trajet, par son côté supérieur, des filets qui vont se rendre aux muscles de la queue, au releveur de l'anus, et à l'extrémité inférieure du rectum. On voit manifestement les rameaux vaginaux, après avoir quelque temps cheminé sur le vagin, pénétrer obliquement dans son épaisseur, et se terminer en s'épanouissant sur la membrane muqueuse.

Dans la chienne comme dans la jument, le col de l'utérus ne m'a paru recevoir aucun nerf. Nous signalerons en passant une particularité assez intéressante : nous avons vu sur plusieurs

chiens les grands sympathiques se réunir en formant une espèce d'anse au niveau de la première vertèbre sacrée, et de cette réunion naissait un rameau qui, continuant le nerf, se plongeait dans un canal percé sur la partie moyenne des vertèbres sacrées suivant ainsi la direction et le trajet de l'artère caudale.

4° Le nerf grand sympathique, qui dans le chien était remarquable par ses ganglions limitrophes, par ses ganglions centraux et par ses filets de communication, ne présente plus dans la lapine les mêmes dispositions anatomiques. Ainsi, il est grêle, ses filets sont ténus, et ses ganglions, peu développés. Les nerfs qui le composent sont si peu résistants et si grêles, qu'on ne peut les disséquer que très-difficilement, et pour les conserver il faut renverser avec une extrême précaution le rein et le péritoine des régions lombaires et iliaques, et suivre les filets qui partent du cordon principal pour accompagner les artères. L'ovaire, les trompes et les cornes reçoivent des filets minces et longs venus du plexus rénal, qui est lui-même fort peu développé et dépourvu de ganglions.

Du plexus aortique naissent des branches qui, en se réuissant, forment deux cordons qui se plongent dans le bassin, en gagnant les côtés du rectum où ils se réunissent à gauche et à droite à trois ou quatre branches remarquables fournies par les branches sacrées antérieures. De leur réunion résulte une grande anse à concavité dorsale ou supérieure et à convexité inférieure. Cette anse fournit peu de rameaux par sa concavité et en donne au contraire un grand nombre par sa convexité. Ce plexus se trouve, à sa formation, comme chez la chienne, appliqué sur les côtés du vagin dans lequel le plus grand nombre de branches se termine. Les unes, descendantes ou caudales, gagnent la vulve et le tour de l'anus; les autres, ascendantes, se dirigent vers l'utérus et accompagnent l'artère utérine. Quelques branches suivent les uretères et vont à la vessie; d'autres se perdent dans le péritoine.

Comme dans les autres animaux, le plexus hypogastrique pa-

raît dans la lapine être spécialement destiné au vagin. Dans cet animal nous avons aussi rencontré une branche qui n'appartient pas au plexus hypogastrique, et qui est formée par deux racines qui naissent des dernières branches antérieures des nerfs sacrés. Elle gagne le pourtour de l'anus, et, se prolongeant d'abord vers la queue, se recourbe ensuite pour remonter dans le vagin, où les nombreux rameaux qu'elle fournit viennent se perdre en se confondant avec les filets du plexus hypogastrique.

Sur plusieurs lapines pleines j'ai examiné les nerfs de l'utérus, et jamais je n'ai trouvé d'augmentation dans le volume des nerfs.

5° Sur deux marmottes, j'ai trouvé le même nombre et la même distribution des nerfs qui forment le plexus hypogastrique. Ainsi, les cordons nerveux fournis par les branches antérieures des nerfs sacrés sont semblables en tous points à ceux de la lapine. La branche pelvienne du grand sympathique, fournie par le plexus aortique, se comporte de la même manière. De même le plexus hypogastrique fournit des branches au vagin, à la vessie et au rectum. Nous appliquons aussi le nom de vaginal au plexus hypogastrique de cet animal. Nous n'avons pas eu l'occasion d'examiner les nerfs utérins de la marmotte pendant la gestation.

Dans l'écureuil et le cabiais, les nerfs utérins ont beaucoup perdu de leur volume, quoique le plexus hypogastrique ait la même forme et la même situation.

En résumé donc de nos dissections, nous déduisons les conclusions suivantes :

1° Constamment les branches fournies par le plexus hypogastrique se rendent d'abord au vagin, dans lequel elles se ramifient avant de parvenir à l'utérus, tandis que chez la femme elles gagnent la partie inférieure de l'utérus ou la partie du col située au-dessus de l'insertion vaginale, pour se répandre sur l'utérus et sur le vagin. Cette disposition du plexus hypogastrique étant à peu près constante chez tous les animaux, excepté chez la femelle du singe, je propose de lui donner le nom de plexus *vaginal*.

2° Elles forment sur le vagin un plexus d'où partent les filets qui vont se rendre aux cornes de l'utérus.

Les rameaux descendants que l'on rencontre chez la femme n'existent donc pas à proprement parler, puisque, aussitôt après être nés du plexus hypogastrique, ils gagnent le vagin lui-même.

3° Sur aucun animal je n'ai rencontré, ni sur le vagin, ni sur l'utérus, les prétendus ganglions nerveux qu'on assure avoir trouvés chez la femme.

4° Dans les animaux, le plexus hypogastrique m'a paru formé en plus grande partie par les nerfs sacrés, le grand sympathique lui envoyant des filets moins nombreux et moins volumineux. Cette disposition anatomique serait-elle en rapport avec la structure musculaire du vagin et de l'utérus?

5° Les nerfs vaginaux et utérins m'ont semblé plus volumineux proportionnellement que dans l'espèce humaine.

6° L'état passif du vagin, pendant l'accouchement chez la femme, et son action énergique dans les animaux, ne peuvent-ils pas s'expliquer par la distribution nerveuse?

7° Chez aucun animal je n'ai rencontré de filets nerveux dans la partie du col qui est saillante dans le vagin.

Voyons quelles conséquences les anatomistes ont tirées de leurs découvertes pour la physiologie et la pathologie.

Galien a bien admis que l'utérus était sensible, et que cette sensibilité ne pouvait s'expliquer que par l'existence des nerfs; mais il ne l'avait démontrée par aucune expérience.

Tiedemann a été plus loin que Galien; il attribue à l'utérus une sensibilité exquise. A l'appui de son opinion il cite ce que dit Haller des femmes qui éprouvent une sensation de volupté au simple contact du pénis sur le col pendant le coït. Il ajoute que le contact du doigt ou d'un stylet est facilement perçu par la matrice. Il cite en outre une observation empruntée à Wrisbergius, dans laquelle il est dit qu'après l'excision de l'utérus la femme ne peut plus éprouver les mêmes jouissances.

Une femme que cite cet auteur éprouva les douleurs les plus

vives lorsque l'accoucheur excisa l'utérus renversé et pendant au dehors. Rousset dit aussi que ce ne fut pas sans exciter de vives douleurs qu'on incisa un utérus renversé.

Tiedemann pense que, les nerfs étant plus volumineux pendant la grossesse, la sensibilité doit être aussi augmentée. C'est par suite de ce surcroît de sensibilité que la mère sent si bien les mouvements du fœtus, et que la main de l'accoucheur, qui pratique la version, cause de si violentes douleurs. En outre, d'après cet auteur, les douleurs qui précèdent, accompagnent et suivent l'accouchement, dépendent des tiraillements que les fibres musculaires font éprouver aux nerfs en se contractant. Il admet aussi que les nerfs de l'utérus exercent une certaine action sur les mouvements involontaires ou automatiques de cet organe, et qu'ils rendent les muscles aptes à se contracter sous l'influence d'irritations; c'est, suivant lui, la force nerveuse qui gouverne et domine les mouvements de l'utérus pendant l'expulsion du fœtus.

En outre, ces nerfs président aux fonctions végétatives proprement dites de l'organe. Mais il a soin de dire qu'il serait téméraire de vouloir déterminer quelle peut être la part de ces nerfs dans cette vie végétative; car tant de ténèbres enveloppent cette question, que c'est à peine si l'on peut se flatter d'y découvrir la moindre lumière (*diluculum*).

Je ne veux pas rechercher quel peut être le mécanisme des contractions de l'utérus, ni soulever la question de savoir si ces contractions peuvent exister aussi bien dans l'état de vacuité de l'organe que pendant les diverses périodes de la gestation. Je dirai seulement que, dans les animaux, l'utérus éprouve un mouvement vermiculaire, et que, par conséquent, il est toujours susceptible de se contracter; et, en tenant compte de l'analogie, on peut rationnellement, chez la femme, rapporter à des contractions spasmodiques certains mouvements qui quelquefois précèdent les règles ou se montrent dans des états morbides de l'organe. Dans tous les cas, dès qu'on a reconnu et admis que

la matrice présente un tissu musculaire, on peut très-logiquement admettre la contractilité.

Quelle est la puissance qui préside à cette contractilité ? Est-ce une force inhérente au tissu de la matrice, une propriété *hallérienne*, et par conséquent indépendante de toute influence nerveuse? ou bien doit-on admettre que cette force appartient aux nerfs?

Lorsqu'autrefois on confondait les nerfs avec tous les tissus blancs, et que, jusqu'à Tiedemann, on n'avait que du doute sur l'existence des nerfs utérins, doute que Lobstein avait encore accru par ses infructueuses recherches, on était bien forcé d'admettre que l'utérus possédait en lui-même cette faculté, qui, il faut le dire, est constamment sous la dépendance du système nerveux.

Maintenant qu'on a reconnu que toute sensibilité et tout mouvement dépendent de l'influx nerveux, et actuellement surtout que les recherches anatomiques sont venues confirmer l'existence des nerfs dans la structure de la matrice, on a dû abandonner la première hypothèse; mais comme l'utérus reçoit des nerfs d'une double source, il s'agit d'établir si toutes deux président à l'accomplissement des fonctions utérines, et si, en outre des contractions qui pourraient être seulement sous la dépendance des nerfs, des ganglions et des nerfs émanés de la moelle épinière, il existerait une sensibilité tactile dans l'utérus, et nous demanderions ensuite si cette sensibilité tactile résiderait dans tout l'utérus.

Toutes les parties constituantes de l'utérus doivent être modifiées d'une manière quelconque par l'innervation, et avec des différences, suivant le nombre et le volume des nerfs qui se terminent dans chacune d'elles. Le mode d'action des nerfs doit varier suivant la classe ou le genre d'animal sur lequel on l'étudie.

Examinons l'action des nerfs ganglionnaires et du plexus sacré sur l'utérus.

M. Brachet, partant de ce point : que les destructions de la moelle épinière n'empêchent pas la fécondation, pense que le nerf grand sympathique agit sur la trompe utérine, puisque celle-ci peut encore s'appliquer sur l'ovaire, et il croit qu'il agit sur l'utérus pendant l'état de la gestation, puisque l'embryon continue de se développer. Quoi qu'il en soit, il semblerait évident que ce nerf, dépourvu de toute sensibilité, comme le démontrent beaucoup d'expériences, contribue aux mouvements utérins.

Comme les vivisections ont démontré que le nerf ganglionnaire est complétement insensible, il est rationnel, je pense, de placer le siége de cette sensibilité dans les rameaux nerveux du plexus hypogastrique qui viennent des nerfs sacrés. Cela posé, il est encore plausible d'admettre que les parties qui reçoivent ces filets jouissent elles-mêmes de cette sensibilité.

Il ne suffit pas que l'anatomie indique ce qui peut exister, il faut encore que l'expérimentation démontre d'une manière positive ce que l'analogie avait révélé; et, par exemple, quoique des filets utérins fournis par le plexus hypogastrique se rendent dans le péritoine qui recouvre l'utérus, il est difficile de dire si, contrairement à ce qui existe dans le reste de son étendue, cette membrane serait sensible dans ce point seulement, ce que pourraient faire penser les douleurs vives qui existent dans la métro-péritonite. S'il reste douteux que cette portion de péritoine soit le siége d'une sensibilité tactile, il n'en est pas de même du corps de l'utérus et d'une partie de son col qui semblent en être doués à un haut degré.

Des preuves nombreuses se présentent en faveur de cette sensibilité : telles sont les douleurs qui se déclarent pendant l'inflammation, pendant les contractions, et lors des distensions par des gaz et des liquides, des injections utérines, de l'introduction de corps étrangers, etc. etc.

Mais si elle existe dans cette partie de l'utérus, il ne me semble pas en être ainsi pour le museau de tanche. Pendant

longtemps, comme la plupart des auteurs, j'ai cru que le col de l'utérus offrait un haut degré de sensibilité; mais, en ayant appelé à l'anatomie, et n'ayant vu aucun nerf se distribuer dans cette partie, et ayant constaté qu'ils s'arrêtaient à la circonférence embrassée par le vagin pour descendre dans les parois de cet organe, j'ai dû commencer à douter; et je n'ai cependant été convaincu complétement que lorsque les faits sont venus me démontrer cette insensibilité d'une manière péremptoire. C'est ainsi qu'on peut expliquer l'absence de douleur dans les cancers encéphaloïdes bornés au museau de tanche, et qu'on pourrait se rendre compte de son insensibilité pendant les sections et les cautérisations avec le fer rouge et les agents chimiques.

Les fonctions des nerfs utérins peuvent-elles devenir plus actives dans certaines circonstances, et faut-il que les nerfs utérins se développent en proportion des fonctions nouvelles que l'organe est appelé à remplir? Des hommes célèbres ont, il est vrai, adopté cette manière de voir; mais malheureusement ils n'ont pas invoqué de preuves à l'appui de leur théorie. Quant à nous, qui les avons recherchées vainement, il nous a paru démontré que le système nerveux ne se modifiait pas ainsi au milieu de nouvelles conditions.

Il ne me paraît pas plus difficile d'expliquer l'activité des fonctions utérines pendant l'accouchement sans le développement temporaire du système nerveux utérin, qu'il ne me paraît nécessaire d'avoir recours à un développement exagéré et accidentel des nerfs de la langue, du bras, de la jambe, de la face, du larynx, etc. lorsque les organes auxquels ils vont se distribuer ont triplé, quadruplé de force ou de mobilité sous l'influence de la colère, des mouvements violents, de la joie, etc.

DÉDUCTIONS PRATIQUES.

La sensibilité que les anatomistes et les pathologistes avaient accordée au col de l'utérus m'ayant paru peu en rapport avec

l'observation et l'expérimentation, j'ai dû tenter de nouvelles expériences pour arriver à une solution définitive.

Chaque jour déjà les partisans de la sensibilité du col utérin devaient concevoir des doutes sur la justesse de leur opinion, en voyant cette partie rester insensible sous l'influence des causes qui excitent dans d'autres régions des douleurs vives.

L'anatomie humaine et comparée m'ayant démontré qu'il n'existait pas de nerfs dans la partie de la matrice qui se plonge dans le vagin, j'ai dû penser qu'à la manière des cartilages, des ligaments, de certaines membranes séreuses qui ne deviennent sensibles, dans l'état morbide, que par leur voisinage avec les nerfs; j'ai dû penser, dis-je, que le col utérin était dépourvu de cette sensibilité qu'on lui avait attribuée, et dès lors j'ai eu la conviction qu'il pourrait supporter des opérations que je n'aurais pas osé pratiquer si elles avaient excité une violente douleur qui aurait pu se propager dans le bassin, dans les nombreux filets nerveux qui s'y rencontrent, et ébranler ainsi toute l'économie. On conçoit que la fièvre traumatique et les troubles nerveux sont d'autant moins intenses que la douleur a été nulle ou presque nulle.

Nous allons rapporter quelques observations dans lesquelles nous démontrons les heureux effets de la cautérisation par le fer rouge dans les affections graves du col de l'utérus.

PREMIÈRE OBSERVATION.

MÉTRORRAGIE REBELLE DURANT DEPUIS CINQ MOIS. — ÉTAT FONGUEUX DE LA CAVITÉ UTÉRINE. — CAUTÉRISATION AVEC LE FER ROUGE RÉPÉTÉE TROIS FOIS. — GUÉRISON.

Victoire Tripier, âgée de 19 ans, d'une bonne constitution, fut atteinte, au mois d'octobre 1839, d'une syphilis caractérisée par quelques petits chancres, et d'un écoulement vaginal, qui furent traités par la liqueur de Van-Swieten. Dans l'espérance d'être plus

promptement guérie, elle en prit une dose plus considérable que celle qu'on lui avait prescrite, et, malgré les violentes coliques qu'elle éprouva, elle continua pendant six jours. Le septième, elle fut prise d'une métrorragie abondante qui la retint au lit pendant un jour ou deux, et qui l'engagea à suspendre ce médicament.

Les jours suivants la perte reparut, mais moins abondante. La voyant se renouveler sans cesse, la malade entra à la Pitié au commencement de décembre. Elle fut saignée un grand nombre de fois, et mise pendant près de six semaines à l'usage du seigle ergoté dans une potion. Ce traitement, qui fut contrarié du reste par une pleurésie intercurrente, n'eut pas une efficacité très-notable. Après un séjour de trois mois, la malade avait des hémorragies presque continuelles, mais un peu moins abondantes, et elle souffrait toujours dans le bas-ventre et dans les lombes. Elle entre à l'hôpital Saint-Louis le 16 mars 1840.

A l'inspection de la vulve, on ne trouve aucune trace de syphilis. Du sang s'écoule en petite quantité par le vagin. La malade se plaint de douleurs dans le bas-ventre et dans la région lombaire, surtout du côté gauche. Elle n'a pas de fièvre, et son état général n'est pas mauvais. Les hémorragies qu'elle éprouve depuis longtemps ne l'ont que très-peu affaiblie. (Saignées de deux palettes; potion avec l'extrait de Ratanhia.)

Les jours suivants, l'hémorragie diminue un peu, et se suspend même complétement le 21 mars. A l'examen du spéculum, je trouve le col de l'utérus dans l'état normal, sous le rapport de son volume et de sa couleur : sa surface est lisse et sa forme est conique. (La malade n'a point eu d'enfants.) Sa situation et sa direction n'ont rien d'anomal; mais, en regardant avec soin, on reconnaît qu'à l'ouverture du col existe une saillie fongueuse; elle est mollasse et saigne facilement lorsqu'elle est touchée même avec un pinceau.

Je ne doutai pas que l'altération qui vient d'être mentionnée ne fût la véritable cause de l'hémorragie, et le 23 mars, l'écou-

lement du sang étant suspendu, je portai à deux ou trois lignes de profondeur, à travers la cavité du col utérin, un mandrin rougi à blanc. La malade, qui redoutait beaucoup cette opération, avoue qu'elle l'a à peine sentie. Le sang coule encore un peu les deux jours suivants, et s'arrête ensuite pendant plusieurs jours.

Du 6 au 15 avril, l'hémorragie reparaît pour s'arrêter de temps en temps, et la malade dit que ses douleurs sont plus vives lorsque le sang ne coule plus.

Le 15 avril, l'hémorragie est suspendue depuis la veille au soir, et je pratique une seconde cautérisation exécutée comme la première fois.

Le sang coule aussitôt après l'opération, s'arrête au bout de quelques heures, et, pendant cinq à six jours, l'hémorragie paraît complétement suspendue; elle reparaît ensuite de temps en temps et s'arrête d'elle-même.

Bien que la cautérisation n'ait pas réussi d'une manière complète, il y a cependant une amélioration notable dans l'état de la malade, puisque les hémorragies sont bien moins abondantes, que les douleurs sont diminuées, et que les forces ont beaucoup augmenté.

Pour tenter d'obtenir une cure radicale, je pratique, le 13 mai, une troisième cautérisation. Cette fois le fer rouge est porté jusqu'à la profondeur d'un pouce dans la cavité utérine. Arrivé à cette profondeur, la malade pousse un cri qui indique une sensibilité qui n'avait pas été éveillée par l'action du cautère sur le col. Du reste, cette douleur n'a été qu'instantanée; la malade ne souffre pas plus qu'à l'ordinaire, et aucun accident local ne se manifeste

A partir de ce jour, il ne s'écoula pas une goutte de sang, jusqu'au 22 mai, les douleurs sont presque nulles; mais à cette époque le sang reparaît, et comme la malade ne connaît plus l'époque de ses règles, on laisse aller l'hémorragie, qui s'arrête spontanément le 1er juin. Le 8 du même mois, elle reparaît

pendant quelques heures seulement et pour la dernière fois.

Quelques jours après on trouve l'orifice utérin légèrement agrandi par la séparation des escarres; sa surface est lisse, rose, nullement fongueuse. La malade, n'éprouvant plus aucune douleur, demande avec instance sa sortie de l'hôpital le 16 juin 1840.

DEUXIÈME OBSERVATION.

HYPERTROPHIE, RAMOLLISSEMENT DU COL DE L'UTÉRUS. — HÉMORRAGIES. CAUTÉRISATIONS PAR LE FER ROUGE.

Pannier (Aimable), âgée de 32 ans, couturière, d'une constitution lymphatique, fut réglée à l'âge de 15 ans, et la menstruation s'accomplit toujours avec régularité. Il y a 7 à 8 ans, à la suite d'un assez long voyage qu'elle fit à cheval, elle sentit des douleurs assez vives dans le ventre, qui devint en même temps volumineux. Cet état dura trois mois, et l'intumescence cessa lorsqu'apparut un écoulement très-abondant de liquide albumineux, filant et blanchâtre. Il restait seulement quelques douleurs passagères et des pesanteurs dans la matrice.

Cet état se maintint pendant quatre ans. Avec l'écoulement blanc coïncidaient des douleurs dans les reins, les cuisses, les aines, des tiraillements dans l'estomac.

Pendant les quatre premières années, il n'y eut pas d'écoulement de sang; mais depuis trois ans et demi, des écoulements rouges apparurent dans l'intervalle des règles; ils duraient un jour ou deux, jamais plus, et se renouvelaient trois ou quatre fois dans le courant du mois. En même temps la malade avait un écoulement blanc épais, et quelquefois mêlé à du sang. A cette époque aussi apparurent, pour la première fois, des élancements avec douleur vive dans l'utérus, des pesanteurs sur les parties antérieures, des douleurs plus fortes dans les reins, les cuisses, les aines, et une constipation habituelle.

Cet état dure depuis quatre ans, avec quelques légères inter-

mittences de gravité et de rémission. Il est à noter que, depuis cette époque aussi, la malade a perdu du sang d'une manière continuelle, mais jamais en abondance. Le traitement qu'elle a suivi consistait en pilules d'opium, tisane de saponaire, de gomme avec le sulfate d'alumine, en sirop de quinquina, en injections avec l'eau de guimauve et l'extrait de saturne. Elle n'avait jamais été examinée au spéculum.

Le 29 mai 1840, elle entre dans mon service, à peu près avec les mêmes symptômes. L'écoulement blanc alterne avec les écoulements de sang. Elle éprouve des douleurs dans les cuisses et les aines, des pesanteurs sur le fondement. (Tisane de chicorée; sirop de gentiane; injections émollientes.)

Le 30 juin 1840, le col est cautérisé avec le fer rouge, et cette opération n'éveille aucune douleur : l'écoulement du sang disparaît et les règles, arrivées le 4 juillet, durent quatre à cinq jours; il leur succède un écoulement blanc assez abondant, quelquefois rosé, mêlé à une certaine quantité de sang; quelques douleurs se font sentir dans les aines avec des coliques passagères.

Le 17 juillet, la malade voit apparaître pour la deuxième fois depuis la cautérisation un écoulement de sang assez abondant. Le 18, je la cautérise de nouveau avec le fer rouge, et sans douleur aucune; le col de l'utérus ne présente pas d'ulcération; il est rouge, hypertrophié, fongueux et ramolli; il en sort comme d'une éponge une certaine quantité de sang, surtout au voisinage de l'orifice du museau de tanche.

Le 20, les douleurs dans les reins sont moins vives, et il ne sort qu'un liquide rouge clair abondant. Le 28, la surface cautérisée est à nu; l'escarre est détachée, et tout le col présente une plaie inégale laissant suinter un liquide mucoso-purulent; il reste toujours quelques douleurs dans les reins et les aines.

Huit jours après la dernière cautérisation, les règles apparaissent, et, depuis le 28 juillet, où l'escarre s'est détachée, jusqu'au 15 août, la malade n'a ressenti que quelques coliques et de légères douleurs dans les reins et l'aine droite; l'écoule-

ment blanc continue, il est épais, crêmeux, abondant pendant les cinq ou six premiers jours qui ont suivi la cautérisation; il n'y a pas eu d'écoulement de sang pur, ni même de sang mêlé à l'écoulement blanc, et la malade quitte l'hôpital.

Je l'ai revue et examinée le 28 octobre 1840. Le col n'a plus l'aspect fongueux et ramolli qu'il présentait : il est dur, ferme, sans ulcération, et la malade n'a plus eu d'écoulement rouge; mais l'écoulement blanc persiste toujours, et parfois elle ressent encore quelques douleurs passagères dans les reins et les aines; parfois aussi elle éprouve quelques tiraillements d'estomac.

TROISIÈME OBSERVATION.

ULCÉRATION DU COL DE L'UTÉRUS, AVEC DOULEURS TRÈS-VIVES, SIMULANT UNE NÉVRALGIE.

Julie Pfister, âgée de 32 ans, blanchisseuse, entre à l'hôpital le 24 avril 1840 : tempérament nerveux, menstruation régulière. Depuis un an environ elle a éprouvé, de temps à autres, des douleurs dans le ventre, et aux dernières époques les règles ont été moins abondantes et un peu douloureuses. La malade ne peut attribuer sa maladie qu'aux peines physiques et morales qu'elle a éprouvées dans son ménage. Ce n'est guère que depuis quinze jours que les accidents dont elle souffrait déjà ont pris une telle intensité, qu'il lui a fallu suspendre tout travail et garder le repos. Depuis cette époque, elle n'a cessé d'avoir des douleurs extrêmement vives dans le bas ventre et dans la région inguinale gauche, s'irradiant parfois jusque dans les lombes. La fièvre s'est allumée, l'appétit a disparu, et il a fallu recourir à une saignée, à des bains, à des émollients en cataplasmes et en injections.

A son entrée à l'hôpital elle est en proie à de vives douleurs dans le bas-ventre, augmentant à la pression la plus légère, et s'accompagnant d'un peu de météorisme; il y a en même temps

un écoulement vaginal d'un blanc verdâtre, souvent mêlé d'une petite quantité de sang. Par le toucher, je soupçonne une ulcération. L'intensité des douleurs m'empêche d'appliquer le spéculum.

J'employai d'abord des antiphlogistiques, des vésicatoires volants sur le bas-ventre, des bains de siége, des préparations opiacées : tous ces moyens n'amenèrent aucun changement notable dans l'état de la malade, et aussitôt que je pus l'examiner au spéculum je remarquai sur le col une ulcération étendue, dont l'aspect n'avait rien de remarquable, si ce n'est sa couleur blafarde et la facilité avec laquelle elle saignait : je la cautérisai avec le deuto-nitrate de mercure.

Le lendemain, je trouve la malade dans un état de calme et de bien-être inattendu : elle n'éprouve presque plus de douleurs, et l'on ne peut douter que cette grande amélioration ne soit réellement le résultat de la cautérisation. La malade est cautérisée une seconde, une troisième fois, à huit jours d'intervalle; elle continue à n'éprouver que des douleurs très-faibles. L'écoulement persiste, mais les forces et l'appétit renaissent, le teint devient meilleur, l'embonpoint revient peu à peu, et l'ulcération marche franchement vers la guérison. Le 7 juin, époque de ses règles, celles-ci se manifestent avec plus d'abondance qu'aux trois dernières époques; leur durée se prolonge même beaucoup, car elles ne cessent que le 19. Le 23 juin, à l'examen au spéculum, je trouve la guérison de l'ulcération très-avancée, et son bel aspect m'engage à ne point la cautériser, et à laisser à la nature le soin de l'achever. Cette malade sortit donc incomplétement guérie, et après trois mois de séjour dans l'hôpital : elle avait encore alors un peu d'écoulement, et les règles étaient cependant très-régulières. Cette femme s'étant livrée à ses occupations habituelles, et ayant été soumise aux mêmes causes qu'auparavant, a bientôt vu sa santé s'altérer de nouveau : l'écoulement est devenu très-abondant; des douleurs vives ont reparu dans le bas-ventre, les reins et les cuisses, et à l'époque des règles elles

éprouvaient un surcroît d'intensité. Cette malade est rentrée le 13 janvier 1841 : examinée au spéculum, nous avons constaté que l'ulcère occupait le museau de tanche, lequel offrait un volume considérable; il pouvait à peine pénétrer dans l'extrémité utérine de l'instrument. Dès lors il fut évident que l'ulcère, qui d'abord s'était rétréci sous l'influence du premier traitement, s'était, lors de la sortie de la malade, agrandi : de là la récidive de presque tous les symptômes qu'elle avait manifestés à l'époque de sa première entrée. De plus, le col utérin avait pris un volume plus considérable par l'irritation prolongée dont il était le siége.

Je dus la soumettre au repos, aux injections narcotiques, aux bains, aux boissons amères, et à de nouvelles cautérisations que je pratiquai avec un pinceau de charpie trempé dans du nitrate acide de mercure.

L'action de ce dernier médicament n'ayant produit que peu de changement dans l'altération, je me décidai à avoir recours au fer rouge, qui produisit des changements instantanés chez la malade.

Le vagin étant protégé par un spéculum en ivoire rond, je portai sur le col de l'utérus un fer rougi à blanc, et dont la tige était terminée par une plaque ronde et large à peu près comme une pièce de 20 sous : à l'instant une escarre noirâtre se forma, une odeur de corne se fit sentir, et cependant la malade attesta n'avoir pas éprouvé la plus petite douleur; aussi s'en retourna-t-elle d'elle-même à son lit. Dans la journée elle ne ressentit aucune douleur; mais l'écoulement augmenta et devint légèrement sanguinolent.

Vingt et un jours après cette cautérisation, les douleurs que cette malade éprouvait aux aines, le long du conduit inguinal et de la fosse iliaque gauche, avaient beaucoup diminué. Au bout de trente-sept jours une nouvelle cautérisation avec le fer rouge fut pratiquée : la malade ne s'aperçut pas qu'elle venait d'être cautérisée, l'instrument lui ayant été soigneusement caché.

Déjà il était évident, lorsque je touchai le col pour la seconde fois avec le fer rouge, que la surface malade était devenue vermeille, et que le col avait perdu un peu de sa dureté : il était encore cependant très-gros et saignait facilement au moindre attouchement.

Dans la journée, la malade ressentit quelques cuissons en urinant, et la matière de l'écoulement était teinte de sang, mais le lendemain déjà elle était blanchâtre, et c'était à peine si l'on pouvait y rencontrer quelques stries de ce fluide. Vingt jours s'étant écoulés depuis cette dernière cautérisation, l'ulcération me parut beaucoup diminuée; une cicatrice blanchâtre, plissée, l'entourait. Trente-quatre jours après la seconde cautérisation, j'en pratiquai une troisième : cette fois la malade éprouva un peu de chaleur, ce qui était probablement dû à l'influence rayonnante du calorique sur le vagin.

Aujourd'hui 8 avril, le col utérin a beaucoup perdu de son volume : il n'existe plus à la place de l'ulcération qu'une cicatrice étoilée, blanchâtre, argentine à la circonférence, rosée à son centre; les règles paraissent régulièrement, l'embonpoint a reparu et la gaieté de cette malade est revenue.

QUATRIÈME OBSERVATION.

CARCINUS DU COL DE L'UTÉRUS. — DEUX AMPUTATIONS PARTIELLES. — CAUTÉRISATION AVEC LE FER ROUGE.

Michel (Pauline), âgée de 27 ans, couturière, d'un tempérament lymphatique, entre à l'hôpital Saint-Louis le 3 décembre 1840, pour y être traitée d'une affection dont elle souffre depuis longtemps.

Elle n'a jamais eu de symptômes syphilitiques, quoiqu'elle avoue avoir contracté des rapports avec un individu qui avait eu plusieurs fois des maladies vénériennes. Elle a été bien réglée jusqu'à l'âge de 24 ans; elle fit une fausse couche à 25 ans, après

trois mois de grossesse. Quatre mois plus tard, elle entra à la Pitié, dans le service de M. Sanson, qui, après avoir interrogé la malade, ordonna par précaution un traitement anti-syphilitique. Elle avait des douleurs dans les reins et le bas-ventre, des coliques, des tiraillements d'estomac; les règles étaient dérangées, elles venaient et plus fréquemment et en plus grande quantité; il y avait en même temps un écoulement jaunâtre assez abondant. A l'époque où M. Sanson pratiqua l'extirpation du col utérin, il existait une altération profonde de cet organe. Malgré cette opération, tous les symptômes persistèrent avec la même intensité, et, la santé générale s'altérant, on conseilla à la malade de quitter l'hôpital pour quelques temps. Elle resta environ six mois chez elle, prenant des tisanes amères, des pilules ferrugineuses, des injections, etc. etc. Elle n'éprouva aucune amélioration, et, au mois de mai 1839, elle entra à Saint-Louis, dans le service de M. Boyer, avec les mêmes symptômes qu'elle éprouvait depuis longtemps. On enleva sur le col de l'utérus, avec des ciseaux, deux petits tubercules saillants de la grosseur d'une noisette. Son séjour à l'hôpital n'amena cette fois de l'amélioration que dans la santé générale; elle sortit encore pour retourner chez elle où elle fut mise par son médecin à l'emploi du vin chalybé. L'écoulement diminua un peu, les douleurs s'amoindrirent, et ses ressources pécuniaires s'épuisant, dans la crainte de voir cette amélioration disparaître par la cessation du traitement, elle entra dans mes salles le 23 décembre 1840.

La face est jaune, quoique la malade ait toute les apparences d'une bonne santé : céphalalgie intermittente; conservation de l'appétit, mais tiraillements d'estomac avant et après les repas; miction douloureuse des urines; constipation habituelle; toutes les trois semaines apparition des règles avec douleur et malaise; écoulement jaunâtre, filant comme du blanc d'œuf, bien moins abondant que par le passé (tisane amère, pilules ferrugineuses, injections narcotiques). Examiné au spéculum, le col, aplati et déformé, semble au premier abord ne plus exister, et le vagin,

qui forme un bourrelet assez saillant, surtout en arrière, semble se continuer avec lui. Sur les parties antérieures existent des boutons tuberculeux, rosés, durs au toucher, qui donnent au col un aspect bossué et inégal.

Le 7 décembre, je cautérise avec le fer rouge, sans aucune douleur. L'escarre qui en résulte est de la largeur d'une pièce de 15 sous. La malade accuse seulement la sensation d'une châleur très-forte dans le vagin, et pendant la journée elle ressent quelques douleurs dans le bas-ventre et dans les reins. Le 8, après un bain, ces douleurs s'amendent, et le 9 elles ont complétement disparu. Mais l'écoulement est plus abondant et les tiraillements d'estomac plus forts, et une amélioration notable se manifeste à l'apparition des règles qui surviennent le 19 décembre. Le 24, nouvelle cautérisation avec le fer rouge, bien que la surface du col soit moins inégale. On touche simplement la partie gauche, sur laquelle il reste une escarre de la largeur d'une pièce de 10 sous. Il ne se manifeste aucune douleur au moment de l'opération. Dans la journée, quelques coliques légères, quelques douleurs dans les reins, un peu de céphalalgie. Augmentation de l'écoulement, qui diminue le 25 et le 26, ainsi que les douleurs dans les cuisses et les aines. Le 27 et le 28 il y a un amendement notable dans tous les symptômes, mais l'écoulement reste toujours à peu près aussi abondant. Le 29 il a un peu diminué, et le 30, lorsque j'examine la malade au spéculum, je vois, après la chute de l'escarre, une surface rosée recouverte par une couche mince de pus crêmeux.

Comme on a pu le voir chez cette malade, on avait affaire à une affection grave déjà fréquemment attaquée par des médications assez énergiques, sans doute, mais suivies de peu de succès. Les deux premières cautérisations avaient diminué la gravité des symptômes; il était urgent de ne pas s'arrêter en si bonne voie. Huit nouvelles cautérisations ont été pratiquées jusqu'à ce jour, et, nous ne saurions trop le répéter, sans qu'aucune de ces opé-

rations ait déterminé de douleur. Actuellement cette malade est dans un état très-satisfaisant : il ne reste plus d'écoulement; les douleurs des aines et des lombes n'existent plus; l'embonpoint est revenu, et la guérison est définitive; la cicatrice est complète et les tubercules ont disparu.

CINQUIÈME OBSERVATION.

ULCÈRE DU COL DE L'UTÉRUS. — CAUTÉRISATION AVEC LE FER ROUGE.

Ferbal (Françoise), agée de 29 ans, couturière, d'un tempérament lymphatique, entre à l'hôpital Saint-Louis, le 24 décembre 1840. Elle a été réglée à 12 ans, et les menstrues sont toujours venues régulièrement. A 19 ans elle eut un enfant, et depuis cette époque elle eut des douleurs dans le bas-ventre, et des flueurs blanches abondantes. Il y a six ans les douleurs augmentaient, et, depuis quatre années, elles se font sentir plus souvent, toujours accompagnées d'un écoulement blanc plus ou moins abondant, de troubles digestifs, mais jamais d'écoulements rouges. Les règles viennent à époque fixe, mais en très-petite quantité.

Lorsque j'examinai le col au spéculum, je trouvai sur la partie gauche une ulcération qui occupait toute sa longueur. La surface ulcérée est d'un rouge brun foncé, uniforme, et repose sur un tissu engorgé. La lèvre antérieure surtout est hypertrophiée. La malade a des douleurs dans le bas-ventre, les reins et les aines; elle éprouve de la céphalalgie, des pesanteurs sur le fondement, des tiraillements d'estomac, et, en outre, il existe un écoulement blanc filant, peu abondant, variant de jour en jour par sa quantité.

Le 28, cautérisation avec le nitrate acide de mercure. Dans la journée l'écoulement est plus fort que d'habitude, il diminue ensuite (tisane amère, bains, injections émollientes).

Deux cautérisations successives avec le nitrate acide ne mo-

difient en rien la surface ulcérée, et déterminent un écoulement rouge qui ne dure que les jours où elles sont pratiquées.

Le 24 décembre, le col présentant le même état, l'ulcération restant stationnaire, je touchai la partie malade avec un fer rouge. Aucune douleur ne se manifesta; la malade croyait même n'avoir pas été cautérisée. Dans la journée, elle éprouva quelques élancements dans la partie et des douleurs dans le bas-ventre et les reins. Elles diminuèrent vers la fin du jour, et l'écoulement blanc fut mêlé à une certaine quantité de sang pendant les premières heures qui suivirent l'opération. Le 25 tout est rentré dans l'ordre; l'écoulement continue; et les jours suivants la sensibilité du ventre est disparue au point qu'une forte pression n'y détermine aucune douleur. L'écoulement a aussi diminué.

Dans les mois de janvier et février il a été pratiqué quatre cautérisations avec le fer rouge. Sous l'influence de cette médication, l'aspect de l'ulcération a complétement changé et en même temps l'état général s'est amélioré.

La malade, interrogée sur la sensation que lui a fait éprouver cette cautérisation, assure qu'elle ne ressent absolument qu'un léger sentiment de pression lorsqu'elle est touchée par le fer rouge. Les jours qui suivent l'opération, quelques élancements se font ressentir dans la matrice, sans aucun symptôme de réaction générale.

Les douleurs qui existaient dans les reins et les cuisses ont disparu, et actuellement la malade est guérie complétement de l'affection utérine grave qu'elle portait. Il ne reste qu'un peu de rougeur sur la lèvre postérieure du museau de tanche. Les règles ne se sont pas montrées depuis trois mois. Du reste, cette femme est retenue à l'hôpital pour une affection catarrhale de la vessie.

SIXIÈME OBSERVATION.

ULCÈRE FONGUEUX DE L'UTÉRUS.

La nommée Jeanne Sauvage, agée de 40 ans, est entrée à l'hôpital Saint-Louis, le 7 décembre 1840, pour y être traitée d'une ophtalmie, d'ulcérations nasales scrofuleuses, et d'une altération de l'utérus dont nous allons faire mention.

Réglée à 16 ans et demi, cette femme l'a toujours été régulièrement jusqu'en août 1839. Depuis cette époque elle n'a pas été réglée, elle n'a pas eu de fausse couche, elle a eu deux enfants, et c'est depuis le dernier accouchement qu'elle n'a pas eu ses règles. Elle a commencé à avoir des flueurs blanches abondantes à dater de sa dernière couche, mais elle n'a éprouvé de douleurs dans les cuisses, dans les aines, et des pesanteurs au fondement que depuis dix-sept mois. Elle fut traitée pour cette affection à Nantes, où on toucha le col de l'utérus, sans doute avec un acide, et, de plus, on lui pratiqua dix-sept saignées contre une céphalalgie qui résista à cette médication.

Le col de l'utérus, examiné au spéculum, présenta un ulcère blafard et fongueux, saignant avec facilité. Plusieurs cautérisations avec le nitrate acide furent faites, ainsi qu'une injection dans l'utérus avec le gaz acide carbonique, mais le tout sans résultat. Le 17 février 1841, je cautérisai l'altération avec le fer rouge, qui pénétra assez profondément, comme si on l'avait introduit dans du beurre. Ce cautère olivaire et à tige droite produisit une escarre profonde et de la largeur d'une pièce de 20 sous. Cette femme ne s'aperçut pas qu'elle venait d'être touchée avec le fer rouge. Un écoulement abondant et sanguinolent suivit la cautérisation, qui ne détermina aucun accident. Le 15 mars, il existait une pellicule blanchâtre, véritable cicatrice qui recouvrait la partie malade. Elle avait été précédée de granulations vermeilles. Quelques jours avant sa sortie de l'hô-

pital les règles apparurent, et la malade sortit parfaitement guérie.

Il me paraît évidemment prouvé que le museau de tanche est insensible à l'action des instruments tranchants et déchirants, des agents chimiques, comme le nitrate acide liquide de mercure, le nitrate d'argent, le caustique de Vienne, et le cautère actuel.

Ce fait étant bien établi, et par l'anatomie et par l'expérience, on peut avec grand avantage, comme le démontrent nos observations porter sur le col de l'utérus des agents énergiques dont les médecins avaient fait usage pour les organes superficiellement situés.

J'ai cru devoir fixer l'attention sur l'action du feu[1] qui modifie, qui change avec tant de rapidité les surfaces malades rebelles à tous les autres moyens thérapeutiques. On pourra donc sans hésiter se servir du cautère actuel qui nous a tant de fois réussi, surtout contre les hémorragies rebelles entretenues par une altération du col utérin sur lequel les caustiques ordinaires ne produisent aucune modification, et contre des récidives de cancer, que l'on ne peut attaquer avec sécurité par l'instrument tranchant.

Toutefois il est prudent, rationnel, indispensable même de ne faire usage du fer rouge qu'après avoir protégé le vagin avec un spéculum mauvais conducteur du calorique. Le spéculum en ivoire remplit cette indication. Nous recommandons, autant que possible, de dérober aux malades la vue du fer rouge, qui leur fait éprouver généralement une grande frayeur.

Le fer rouge appliqué sur le col de l'utérus une première fois, non-seulement ne produit aucune douleur, mais encore on peut à différentes reprises renouveler cette application, et toujours on obtient le même résultat, pourvu toutefois, nous ne saurions trop le redire, que le vagin soit protégé.

[1] Les barons Percy et Larrey avaient émis l'opinion que le col de l'utérus pouvait être attaqué par le fer rouge. Percy, dans sa Pyrotechnie, en a donné le conseil, et Larrey avait conseillé de protéger le vagin avec un spéculum mauvais conducteur du calorique, avant de toucher le col de l'utérus avec un fer rouge.

MÉMOIRE

SUR

LA DÉMONSTRATION D'UN NOUVEAU CAS

DU DERNIER THÉORÈME DE FERMAT,

PAR G. LAMÉ.

PRÉSENTÉ À L'ACADÉMIE LE 1er JUILLET 1839.

De tous les théorèmes sur les nombres énoncés par Fermat, un seul reste encore incomplétement démontré. Ce théorème dit que l'équation $x^n+y^n=z^n$ est impossible en nombres entiers lorsque l'exposant n est plus grand que 2. Euler a démontré cette impossibilité pour $n=3$, et, par suite, pour tout multiple de 3 ou pour $n=3i$; Fermat lui-même pour $n=4$ (et $n=4i$); M. Dirichlet pour $n=14$ (et $n=14i$); enfin Legendre, complétant un travail de M. Dirichlet, pour $n=5$ (et $n=5i$). Je me propose, dans ce mémoire, d'établir la même impossibilité pour $n=7$, et conséquemment aussi pour tous les multiples de 7, impairs et non divisibles par 3 ou 5, les seuls qui ne rentrent pas dans les cas précédemment traités. Je présente ici cette démonstration sans recourir à aucune théorie étrangère, et sans m'appuyer sur les propriétés secondaires que Legendre a réunies dans la seconde édition de sa Théorie des nombres. Tous les lemmes nécessaires à cette démonstration particulière sont démontrés directement, et uniquement en vue de l'exposant 7.

1. Si l'équation $x^7+y^7=z^7$ est possible en nombres entiers, on peut supposer l'existence d'une solution pour laquelle x, y, z, n'auraient aucun facteur commun; car si Δ représente le plus grand commun diviseur entre trois nombres Δx, Δy, Δz, qui vérifient l'équation proposée, on pourra diviser l'identité $(\Delta x)^7+(\Delta y)^7=(\Delta z)^7$ par Δ^7, et l'on aura l'équation

$$(1)\quad x^7+y^7=z^7$$

dans laquelle x, y, z, ne peuvent plus être divisibles tous les trois par un même nombre. Alors x, y, z, sont nécessairement premiers deux à deux; car un facteur premier δ ne pourrait diviser deux de ces nombres sans diviser le troisième.

2. Des trois nombres x, y, z, l'un est nécessairement pair et les deux autres impairs. Il serait possible qu'aucun d'eux ne fût divisible par 7; car, les nombres que 7 ne divise pas étant compris dans les formes $7i\pm1, \pm2, \pm3$, leurs septièmes puissances le sont dans celles-ci : $49i\pm1, \pm19, \pm18$, et la somme de trois des six restes $\pm1, \pm19, \pm18$ peut être nulle. Ainsi il y a lieu de considérer deux cas différents : 1° celui où 7 ne divise ni x, ni y, ni z; 2° celui où 7 divise l'un de ces nombres.

PREMIER CAS.

3. L'équation proposée étant mise successivement sous les trois formes suivantes :

$$x^7=(z-y)\{(z-y)^6+7y(z-y)^5+3.7y^2(z-y)^4+5.7y^3(z-y)^3 +5.7y^4(z-y)^2+3.7y^5(z-y)+7y^6\}=(z-y)\mathrm{X},$$

$$y^7=(z-x)\{(z-x)^6+7x(z-x)^5+3.7x^2(z-x)^4+5.7x^3(z-x)^3 +5.7x^4(z-x)^2+3.7x^5(z-x)+7x^6\}=(z-x)\mathrm{Y},$$

$$z^7=(x+y)\{(x+y)^6-7y(x+y)^5+3.7y^2(x+y)^4-5.7y^3(x+y)^3 +5.7y^4(x+y)^2-3.7y^5(x-y)+7y^6\}=(x+y)\mathrm{Z},$$

X et $(z-y)$, ou Y et $(z-x)$, ou Z et $(x+y)$ ne pourraient avoir d'autre facteur premier commun que 7 : car δ, nombre premier divisant X et $(z-y)$, ou Y et $(z-x)$, ou Z et $(x+y)$, diviserait $7y^6$ et $(z-y)$, ou $7x^6$ et $(z-x)$, ou $7y^6$ et $(x+y)$; et si δ était autre que 7, il diviserait y et $(z-y)$, d'où y et z, ou x et $(z-x)$, d'où x et z, ou y et $(x+y)$, d'où y et x. Mais dans le cas actuel x, y, z sont tous les trois premiers entre eux et avec 7, donc X, $(z-y)$, Y, $(z-x)$, Z, $(x-y)$ sont tous premiers entre eux, ce qui conduit aux trois décompositions

$$(2)\quad \begin{cases} x=m\mu, & X=m^7, & z-y=\mu^7=a, \\ y=n\nu, & Y=n^7, & z-x=\nu^7=b, \\ z=p\rho, & Z=p^7, & x+y=\rho^7=c, \end{cases}$$

les six nombres m, μ, n, ν, p, ρ, étant premiers entre eux.

4. Les équations (2) donnent aisément $x+y-z=\mu(m-\mu^6)=\nu(n-\nu^6)=\rho(\rho^6-p)$. La valeur commune des trois derniers produits, étant divisible séparément par μ, par ν, par ρ, facteurs premiers entre eux, le sera nécessairement par le produit de ces facteurs, et l'on pourra poser

$$(3)\quad \mu(m-\mu^6)=\nu(n-\nu^6)=\rho(\rho^6-p)=A\mu\nu\rho=AP=x+y-z,$$

A étant un nombre entier. On déduit de là :

$$(4)\quad m=\mu^6+A\nu\rho, \quad n=\nu^6+A\rho\mu, \quad p=\rho^6-A\mu\nu.$$

D'où il suit que A est premier avec μ, ν, ρ : car si A et μ, par exemple, avaient un facteur premier commun δ, m serait divisible par δ d'après la première (4); m et μ ne seraient donc pas premiers entre eux. Par la même raison, A est premier avec m, n, p, et par suite avec x, y, z.

5. On déduit des groupes (3) et (4) : $A\mu\nu\rho=x+y-z=m\mu+n\nu$

$-p\rho=n^7+\nu^7-\rho^7+3\mathrm{A}\mu\nu\rho=a+b-c+3\mathrm{A}\mu\nu\rho$; ce qui donne la relation fondamentale :

$$(5)\quad \rho^7-\nu^7-\mu^7=2\mathrm{A}\mu\nu\rho, \text{ ou } c-b-a=2\mathrm{AP}.$$

La troisième colonne du groupe (2) conduit aux valeurs suivantes $2x=c-b+a$, $2y=c+b-a$, $2z=c+b+a$, qui transforment ainsi l'équation (1) :

$$(6)\quad (c+b+a)^7=(c-b+a)^7+(c+b-a)^7.$$

Mais on a généralement, comme il est aisé de s'en assurer :

$$(7)\quad (c+b+a)^7-(c-b+a)^7-(c+b-a)^7+(c-b-a)^7= 7-8abc\{3(a^4+b^4+c^4)+10[b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2]\},$$

et l'équation (6) réduit celle (7) à la suivante :

$$(8)\quad (c-b-a)^7=7.8abc\{3(a^4+b^4+c^4)+10(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2)\}$$

puis, comme l'équation (5) donne $(c-b-a)^7=2^7\mathrm{A}^7\mu^7\nu^7\rho^7=2^7\mathrm{A}^7abc$, cette valeur substituée, l'équation (8) devient, en divisant par 2^3abc :

$$(9)\quad 2^4\mathrm{A}^7=7\{3(a^4+b^4+c^4)+10(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2)\}.$$

D'où l'on voit que A est nécessairement divisible par 7.

6. L'équation (9) combinée avec celle (5) démontre que A est essentiellement un carré; voici comment s'établit cette proposition importante. L'équation (9), résolue par rapport à a^2, donne $3a^2=-5(b^2+c^2)+2\sqrt{4b^4+5b^2c^2+4c^4+\frac{3}{7}2^2\mathrm{A}^7}$. La quantité soumise au radical devant être le carré d'un nombre entier φ, si l'on pose pour simplifier $b^2+c^2=\psi$, on aura :

$$(10)\quad 3a^2=2\varphi-5\psi,\ \tfrac{12}{7}A^7=\varphi^2+3b^2c^2-4\psi^2;$$

mais l'équation (5) donne $a=c-b-2AP$, $a^2=\psi-2cb-4AP(c-b-AP)$, ou plus simplement, si l'on remarque que $c-b-AP=a+AP=m\mu=x:a^2=\psi-2cb-4APx$. Cette valeur de a^2, substituée dans la première (10) donne : $\varphi=4\psi-3cb-6APx$. Enfin cette valeur de φ étant substituée dans la deuxième (10), il vient $\frac{12}{7}A^7=12(\psi-cb)^2-12APx(4\psi-3cb-3APx)$, divisant par 12, mettant A en facteur.

$$(11)\quad A\left(\tfrac{1}{7}A^6+Px((4\psi-3cb)-3APx)\right)=(\psi-cb)^2=(c^2-cb+b^2)^2.$$

Or, dans le premier membre, A est premier avec la parenthèse; car un facteur premier δ qui diviserait A et cette parenthèse, diviserait le produit $Px(4\psi-3cb)$; mais A est premier avec P et avec x; δ diviserait donc $(4\psi-3cb)$; divisant le second membre de l'équation (11), ou $(\psi-cb)$, δ diviserait $(4\psi-3cb)-4(\psi-cb)=cb=\nu^7\rho^7$, c'est-à-dire ν ou ρ, qui ne doivent avoir aucun facteur commun avec A. D'après cela l'équation (11) ne pourra se décomposer que de la manière suivante :

$$(12)\quad b^2-cb+c^2=BG,\ A=B^2,\ \tfrac{1}{7}A^6+Px(4\psi-3cb-3APx)=G^2,$$

B et G étant des nombres premiers. Ainsi A est un carré. Soit pris $D=G-2BPa$, d'où $G=D+2BPa$; la première des équations (12) devient alors $b^2+c^2-bc=BD+2B^2Pa=BD+a(c-a-b)$, ou bien

$$(13)\quad a^2+b^2+c^2-bc-ca+ab=BD.$$

7. Réunissant les équations (5), (13) et (11), on formera le groupe suivant :

$$(14)\quad c-b-a=2B^2P,\ a^2+b^2+c^2-bc-ca+ab=BD,\ abc=P^7,$$
$$3(a^2+b^2+c^2)+10(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2)=\tfrac{16}{7}B^{14}.$$

8.

Il s'agit d'éliminer $a, b, c,$ entre ces quatre équations, afin d'obtenir une équation finale entre les trois nombres B, D, P. La seconde (14), combinée avec le carré de la première, donne : $a^2+b^2+c^2=2BD-4B^4P^2$, $-bc-ca+ab=4B^4P^2-BD$; d'où il est facile de conclure $[a^4+b^4+c^4+2(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2)]=(2BD-4B^4P^2)^2$, et $b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2=(4B^4P^2-BD)^2-4B^2P^8$. Enfin ces valeurs, substituées dans la quatrième (14), donnent pour l'équation finale :

$$\frac{16}{7}B^{14}=3(2BD-4B^4P^2)^2+4(4B^4P^2-BD)^2-16B^2P^8.$$

Si l'on développe les carrés indiqués, cette équation devient divisible par $16B^2$, et peut s'écrire ainsi :

$$(15)\quad 7\left(\frac{B^6}{7}\right)^2+P^8=D^2-5B^3P^2D+7B^6P^4.$$

B est divisible par 7, comme on l'a vu : ainsi $\frac{B^6}{7}$ est un nombre entier. On établit facilement que $P=\mu\nu\rho$ est un nombre pair; en effet, l'équation $x+y-z=AP$ exige que AP soit divisible par 2, puisque des trois nombres x, y, z, un seul étant pair et les deux autres impairs, le nombre $(x+y-z)$ est nécessairement pair; or A ne saurait être divisible par 2, qui divise $x,$ ou $y,$ ou $z,$ avec lesquels A doit être premier; donc 2 divisera P, c'est-à-dire l'un des trois nombres μ, ν, ρ; et A ou B^2, par suite B sera un nombre impair. D'ailleurs un seul des trois nombres $\mu, \nu, \rho,$ ou des trois autres $a=\mu^7$, $b=\nu^7$, $c=\rho^7$, étant pair, le premier membre de l'équation (13) est essentiellement impair, d'où il suit que non-seulement B, mais aussi D, sont impairs.

8. Il résulte de là que l'équation (15) est impossible en nombres entiers, avec ces conditions; car elle peut se mettre sous la forme :

$$(16)\quad P^2(7B^6P^2-5B^3D-P^6)=7\left(\frac{B^6}{7}\right)^2-D^2,$$

et le premier membre est de la forme $4i,$ tandis que les carrés

d'impairs $\left(\frac{B^6}{7}\right)$ et D^2 étant de la forme $8n+1$, le second membre sera de la forme $8n+6$ ou $4n+2$. Il résulte de l'incompatibilité de ces deux formes que l'équation (16) est impossible avec les conditions imposées aux membres B, D, P, et par conséquent que l'équation (1) ne saurait être satisfaite par des nombres entiers x, y, z, sans que 7 soit facteur de l'un de ces nombres.

SECOND CAS.

9. L'un des nombres x, y, z, est divisible par 7. L'équation (1) peut toujours être mise sous les trois formes suivantes :

$$(17)\quad \begin{cases} x^7=(z-y)\{(z-y)^6+7y(z-y)^5+3.7y^2(z-y)^4+5.7y^3(z-y)^3 \\ \qquad +5.7y^4(z-y)^2+3.7y^5(z-y)+7y^6\}=(z-y)\mathrm{X}, \\ y^7=(z-x)\{(z-x)^6+7x(z-x)^5+3.7x^2(z-x)^4+5.7x^3(z-x)^3 \\ \qquad +5.7x^4(z-x)^2+3.7x^5(z-x)+7x^6\}=(z-x)\mathrm{Y}, \\ z^7=(x+y)\{(x+y)^6-7y(x+y)^5+3.7y^2(x+y)^4-5.7y^3(x+y)^3 \\ \qquad +5.7y^4(x+y)^2-3.7y^5(x+y)+7y^6\}=(x+y)\mathrm{Z}. \end{cases}$$

Si 7 divise x, il divisera sept fois x^7, ne pourra diviser X qu'une seule fois, puisqu'il ne divise pas y, il divisera donc au moins six fois $(z-y)$. Les nombres $(z-x)$, Y, $(x+y)$, Z, seront premiers entre eux. On aura ainsi les trois décompositions :

$$(18)\quad \begin{cases} x=7m\mu, & \mathrm{X}=7m^7, & z-y=7^6\mu^7=a, \\ y=n\nu, & \mathrm{Y}=n^7, & z-x=\nu^7=b, \\ z=p\rho, & \mathrm{Z}=p^7, & x+y=\rho^7=c, \end{cases}$$

et l'on déduira de ce groupe comme de celui (2) les conséquences suivantes :

$$(19)\quad \begin{cases} x+y-z=7\mu(m-7^5\mu^6)=\nu(n-\nu^6)=\rho(\rho^6-p)=7\mathrm{A}\mu\nu\rho=7\mathrm{AP}, \\ m=7^5\mu^6+\mathrm{A}\nu\rho,\ n=\nu^6+7\mathrm{A}\rho\mu,\ p=\rho^6-7\mathrm{A}\mu\nu, \\ 7\mathrm{AP}=x+y-z=7m\mu+n\nu-p\rho=7^6\mu^7+\nu^7-\rho^7+3.7\mathrm{AP} \\ \qquad\qquad =a+b-c+3.7\mathrm{AP}. \end{cases}$$

A est entier, et nécessairement premier avec 7P; car 7 ne pourrait diviser A sans diviser m, d'où il suivrait que $X=7m^7$ contiendrait plus d'une fois le facteur 7; et un facteur premier δ ne pourrait diviser à la fois A et μ, ou ν, ou ρ, sans diviser aussi m, ou n, ou p, d'où il suivrait que les nombres m, μ, n, ν, p, ρ, ne seraient pas premiers entre eux. Par la même raison, A est premier avec m, n, p, par suite avec x, y, z; d'où il suit que A est impair, car 2 divise l'un des nombres x, y, z; or 7AP est pair comme $x+y-z$, donc $P=\mu\nu\rho$ est pair, c'est-à-dire que l'un des trois nombres μ, ν, ρ, est divisible par 2, tandis que m, n, p, restent tous les trois impairs.

10. On déduit encore du groupe (18), troisième colonne, $2x=c-b+a$, $2y=c+b-a$, $2z=c+b+a$, ce qui transforme l'équation (1) en $(c+b+a)^7=(c-b+a)^7+(c+b-a)^7$; et la formule générale (7) se réduit encore à $(c-b-a)^7=7.8abc\{3(a^4+b^4+c^4)+10(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2)\}$. Or on a $7abc=(7\mu\nu\rho)^7$ et $c-b-a=2.7A\mu\nu\rho$ (19); la substitution de ces valeurs dans l'équation précédente donne, en supprimant le facteur commun $(7\mu\nu\rho)^7$:

$$(20)\quad 2^4A^7=3(a^4+b^4+c^4)+10(b^2c^2+c^2a^2+a^2b^2).$$

11. Si 7 divisait z et non x, le groupe (18) serait remplacé par celui-ci :

$$(18)\,bis.\quad \begin{cases} x=m\mu, & X=m^7, & z-y=\mu^7=a, \\ y=n\nu, & Y=n^7, & z-x=\nu^7=b, \\ z=7p\rho, & Z=7p^7, & x+y=7^6\rho^7=c, \end{cases}$$

et les formules (19) par celles-ci :

$$(19)\,bis.\quad \begin{cases} x+y-z=\mu(m-\mu^6)=\nu(n-\nu^6)=7\rho(7^5\rho^6-p)=7A\mu\nu\rho=7AP, \\ m=\mu^6+7A\nu\rho,\ n=\nu^6+7A\rho\mu,\ p=7^5\rho^6-A\mu\nu, \\ 7AP=x+y-z=m\rho+n\nu-7p\rho=\mu^7+\nu^7-7^6\rho^7+3.7AP \\ \qquad\qquad =a+b-c+3.7AP \end{cases}$$

On démontrerait de la même manière que A est premier avec $\mu, \nu, \rho; m, n, p; x, y, z$, et conséquemment impair, tandis que P est pair. Enfin la relation de même forme $c-b-a=2.7\mathrm{AP}$, et les valeurs de $2x, 2y, 2z$, déduites de la troisième colonne du groupe (18) *bis*, conduiraient de la même manière à l'équation (20). Ainsi, quel que soit celui des trois nombres que 7 divise, l'équation (20) subsistera, A étant toujours le nombre qui vérifie l'équation

$$(21)\quad c-b-a=2.7\mathrm{AP}=2.7\mathrm{A}\mu\nu\rho,$$

les valeurs de c, b, a, étant

$$(22)\quad \begin{cases} a=7^6\mu^7, & b=\nu^7, & c=\rho^7, \text{ si 7 divise } x, \\ a=\mu^7, & b=7^6\nu^7, & c=\rho^7, \text{ si 7 divise } y, \\ a=\mu^7, & b=\nu^7, & c=7^6\rho^7, \text{ si 7 divise } z, \end{cases}$$

et l'on a, dans tous les cas :

$$(23)\quad 7abc=(7\mu\nu\rho)^7=7^7\mathrm{P}^7,\ x=a+7\mathrm{AP},\ y=b+7\mathrm{AP},\ z=c-7\mathrm{AP}.$$

12. Si l'on résout l'équation (20) par rapport à a^2, il vient $3a^2=-5(b^2+c^2)+2\sqrt{4b^5+5c^2b^2+4c^4+12\mathrm{A}^7}$, et le radical devant être un nombre entier φ, on aura, en posant $b^2+c^2=\psi$:

$$(24)\quad 3a^2=2\varphi-5\psi,\ 12\mathrm{A}^7=\varphi^2+3b^2c^2-4\psi^2;$$

mais l'équation (21) donne $a=c-b-2.7\mathrm{AP}$, $a^2=\psi-2bc-4.7\mathrm{AP}$ $(c-b-7\mathrm{AP})=\psi-2bc-4.7\mathrm{AP}x$; cette valeur de a^2 substituée dans la première (24) donne : $\varphi=4\psi-3bc-6.7\mathrm{AP}x$; enfin cette valeur de φ, substituée dans la dernière (24), la rend divisible par 12, et le résultat, mettant A en facteur, est :

$$(25)\quad \mathrm{A}\Big(\mathrm{A}^6+7\mathrm{P}x(4\psi-3cb-3.7\mathrm{AP}x)\Big)=(\psi-bc)^2=(b^2-cb+c^2)^2.$$

Si A, premier avec $7P$ et x, et divisant $(\psi - bc)^2$, avait un facteur premier δ commun avec la parenthèse qu'il multiplie dans le premier membre de l'équation (25), δ diviserait $(4\psi - 3bc)$ et $(\psi - bc)$, par suite $bc = (4\psi - 3bc) - 4(\psi - bc)$, conséquemment b ou c, ν ou ρ; A ne serait donc pas premier avec $7P$. Donc le seul moyen de décomposer l'équation (25) est celui-ci :

$$(26)\quad b^2 - bc + c^2 = BG,\quad A = B^2,\quad A^6 + 7Px(4\psi - 3bc - 3.7APx) = G^2.$$

B et G étant deux nombres premiers entre eux, et tous les deux impairs, car $(b^2 - bc + c^2)$ est toujours impair, que l'un des deux nombres b et c soit pair, ou qu'ils soient tous les deux impairs, seuls cas possibles. Il est donc démontré que A est un carré. Soit pris $D = G - 2BPa$, d'où $G = D + 2BPa$; la première des équations (26) devient alors $b^2 + c^2 - bc = BD + 2B^2Pa = BD + a(c - a - b)$, ou bien

$$(27)\quad a^2 + b^2 + c^2 - bc - ca + ab = BD,$$

D étant impair comme G.

13. Les équations (20), (21), (23) et (27) fournissent le groupe

$$(28)\quad c - b - a = 2.7B^2P,\ a^2 + b^2 + c^2 - bc - ca + ab = BD,\ abc = 7^6P^7,$$
$$3(a^4 + b^4 + c^4) + 10(b^2c^2 + c^2a^2 + a^2b^2) = 16B^{14}.$$

Il s'agit d'éliminer a, b, c entre ces quatre équations; les deux premières donnant $a^2 + b^2 + c^2 = (2BD - 4.7^2B^4P^2)$, $-bc - ca + ab = 4.7^2B^4P^2 - BD$; et ces deux équations $a^4 + b^4 + c^4 + 2(b^2c^2 + c^2a^2 + a^2b^2) = (2BD - 4.7^2B^4P^2)^2$, $b^2c^2 + c^2a^2 + a^2b^2 = (4.7^2B^4P^2 - BD)^2 - 4.7^7B^4P^8$. Ces valeurs, substituées dans la quatrième (28), donnent une équation finale où $16B^2$ peut être supprimé, comme facteur commun, et qui donne définitivement :

$$(29)\quad B^{12} + 7(7^3P^4)^2 = (D - \tfrac{5}{2}7^2P^2B^3)^2 + 3(\tfrac{1}{2}7^2P^2B^3)^2,$$

ou en posant : $D = D_1 + \frac{5}{2} 7^2 P^2 B^3$, plus simplement.

$$(30)\quad B^{12} + 7(7^3 P^4)^2 = D_1^2 + 3\left(\tfrac{1}{2} 7^2 P^2 B^3\right)^2.$$

14. P étant divisible par 2, et P^2 par 4, $\frac{1}{2}P^2$ sera entier et pair, D_1 impair comme D et B. La différence des carrés d'impairs $(B^6)^2$ et D_1^2 étant divisible par 8, ainsi que le terme $7(7^3P^4)^2$, il faut que 8 divise $3(\frac{1}{2}7^2P^2B^3)^2$, ce qui exige que P soit au moins divisible par 4. B et P devant être premiers entre eux, l'équation (30) démontre que D_1 est premier avec B et 7P.

L'équation (30) ne présente plus la même circonstance d'incompatibilité de forme que celle (16); aussi la démonstration de son impossibilité exige-t-elle une recherche plus laborieuse. Puisque P est pair, et même de la forme $4i$, soit posé $P = 2P_0$; P_0 sera pair, et l'équation (30) devient $D_1^2 = B^{12} - 12.7^4 P_0^4 B^6 + 2^8.7^7 P_0^8 = (B^6 - 6.7^4 P_0^4)^2 + 7^7.2^2(2^6 - 3^2.7) P_0^8$; mais $2^6 - 3^2.7 = 64 - 63 = 1$, on a donc simplement :

$$(31)\quad D_1^2 = (B^6 - 6.7^4 P_0^4)^2 + 7.(2.7^3 P_0^4)^2.$$

15. Pour satisfaire à cette équation, on pourrait s'appuyer sur des théorèmes concernant les formes quadratiques et leurs diviseurs; mais, sans rien emprunter à des théories étrangères, il suffit ici de résoudre directement l'équation indéterminée $t^2 = u^2 + 7v^2$, dans laquelle les nombres t, u impairs, et v pair, doivent être premiers entre eux. Cette équation peut se mettre sous la forme $(t-u)(t+u) = 7v^2$; les facteurs $(t-u)$ et $(t+u)$, qui sont pairs, ne pourront avoir un facteur premier commun δ autre que 2; car alors δ divisant leur somme $2t$, et leur différence $2u$, diviserait t et u qui doivent être premiers entre eux. Si donc on pose $V = 2^i MN$, M et N étant deux nombres impairs premiers entre eux, la seule manière de décomposer l'équation

précédente, compatible avec les conditions imposées aux nombres t, u, v, sera donnée par le groupe suivant :

$$V=2^{i}MN,\ t\mp u=7.2^{m}M^{2},\ t\pm u=2^{n}N^{2},\ m+n=2i,$$

d'où l'on déduit :

$$t=7.2^{m-1}M^{2}+2^{n-1}N^{2},\ \mp u=7.2^{m-1}M^{2}-2^{n-1}N^{2};$$

t et u devant être impairs, il faut nécessairement que l'un des exposants $(m-1)$ ou $(n-1)$ soit nul, et leur somme $(m+n-2)$ étant $2(i-1)$, celui qui restera sera nécessairement pair. Il suit de là qu'en posant $2^{i-1}M=g$, $N=f$, ou $M=g$, $2^{i-1}N=f$, ce qui donne dans les deux cas $2^{i-1}MN=fg$, et $V=2^{i}MN=2fg$, on aura définitivement

$$V=2fg,\quad t=f^{2}+7g^{2},\quad \pm u=f^{2}-7g^{2},$$

pour satisfaire généralement à l'équation indéterminée $t^{2}=u^{2}+7v^{2}$.

16. D'après cette solution, l'équation (31) conduit au groupe suivant :

$$(32)\quad D_{1}=f^{2}+7g^{2},\ \pm B^{6}\mp 6.7^{4}P_{0}^{4}=f^{2}-7g^{2},\ fg=7^{3}P_{0}^{4}.$$

f ne peut être divisible par 7, sans quoi 7 diviserait D_1 et B, ce qui ne peut être; f et g sont nécessairement premiers entre eux, car un facteur premier δ qui les diviserait tous deux, ainsi que leur produit $7^{3}P_{0}^{4}$, diviserait aussi P_0, et par suite B^6 et B; B et P_0 ne seraient donc pas premiers entre eux. Ainsi la troisième équation (32) ne peut être décomposée que de cette manière :

$$(33)\quad P_{0}=Q_{1}P_{1},\ f=Q_{1}^{4},\ g=7^{3}P_{1}^{4};$$

Q_1 est premier avec $7P_1$; comme P_0 est divisible par 2, Q_1 ou P_1 est pair. La seconde (32) devient $\pm B^{6}=(Q_{1}^{4}\pm 3.7^{4}P_{1}^{4})^{2}-$

$7(2.^3 7.^3 P_1^4)^2$. Le signe inférieur est inadmissible, car il en résulterait $7(2^3 7^3 P_1^4) = (Q_1^4 - 3.7^4 P_1^4)^2 + B_1^6$, et le second membre, somme de deux carrés impairs, serait de la forme $8n+2$, tandis que le premier est divisible par $2^6 = 64$. On a donc nécessairement

$$(34)\quad (Q_1^4 + 3.7^4 P_1^4)^2 = (B^3)^2 + 7(2^3.7^3 P_1^4)^2.$$

17. Ici, comme pour l'équation (31), on devra poser

$$(35)\quad Q_1^4 + 3(7^2 P_1^2)^2 = f_1^2 + 7g_1^2,\ \pm B^3 = f_1^2 - 7g_1^2,\ f_1 g_1 = 2^2.7^3 P_1^4.$$

f_1 et g_1 sont nécessairement l'un pair et l'autre impair, pour que B reste impair. Ainsi f_1 et g_1 n'ont pas le facteur commun 2 ; ils ne sauraient non plus avoir un autre facteur premier δ, qui, les divisant tous deux ainsi que leur produit $2^3.7^3.P_1^4$, diviserait $7P_1$, par suite B et Q_1, en sorte que B et $7P = 2.7P_1Q_1$ ne seraient pas premiers entre eux. Par la même raison, f_1 n'est pas divisible par 7.

18. *Lemme.* Avant d'aller plus loin, il importe de remarquer que l'équation $t^2 + 3u^2 = v^2 + 7w^2$, dans laquelle t et u sont premiers entre eux, ainsi que v et w, et les deux membres des nombres impairs, exige que t et v soient pairs ensemble, ou impairs ensemble. En effet, de t et u, l'un doit être pair et l'autre impair; il en est de même de v et w : or si t et w étaient pairs, u et v seraient impairs, le premier membre serait de la forme $4n+3$, et le second de celle $4n+1$, incompatible avec la première; si u et v étaient pairs, t et w impairs, le premier membre serait de la forme $4n+1$, et le second aurait celle $4n+3$, d'où résulterait la même incompatibilité. Donc t et v sont pairs ou impairs ensemble, u et w impairs ou pairs tous les deux.

19. Il résulte de ce lemme, de ce que f_1 et g_1 sont premiers entre eux, et de la première équation du groupe (35), que la troisième équation du même groupe pourra se décomposer de l'une ou de l'autre des deux manières suivantes :

$$P_1=P_2Q_2\begin{cases}f_1=2^2Q_2^4, & g_1=7^3P_2^4, \quad \text{si } Q_1 \text{ pair, } P_1, P_2, Q_2 \text{ impairs.}\\ f_1=Q_2^4, & g_1=2^2.7^3P_2^4, \text{ si } P_1 \text{ pair, } Q_1, Q_2 \text{ impairs.}\end{cases}$$

La première équation (35) devient ainsi :

$$Q_1^4=2^4Q_2^8-3.7^4Q_2^4P_2^4+7^7P_2^8, \text{ si } Q_1 \text{ pair, } P_2 \text{ et } Q_2 \text{ impairs,}$$
$$Q_1^4=Q_2^8-3.7^4Q_2^4P_2^4+2^4.7^7.P_2^8, \text{ si } Q_1 \text{ impair, } Q_2 \text{ étant impair.}$$

Or la première de ces équations est impossible en nombres entiers avec les conditions posées : en effet, cette équation peut se mettre sous la forme $16\left(\left(\frac{Q_1}{2}\right)^4-Q_2^8\right)=7(7^3P_2^4)^2-3(7^2Q_2^2P_2^2)^2$, et les deux membres sont incompatibles, car l'un est de la forme $4.4n$, tandis que l'autre est de la forme $7(8n+1)-3(8n'+1=4(2n''+1)$. On a donc nécessairement :

$$(36)\quad Q_1^4=Q_2^8-3.7^4Q_2^4P_2^4+2^4.7^7P_2^8.$$

et c'est cette dernière équation qu'il s'agit de résoudre en nombres entiers.

20. L'équation (36) peut se mettre sous la forme $Q_1^2+3(7^2Q_2^2P_2^2)^2=Q_2^4+7(2^2.7^3P_2^4)$; Q_1 et Q_2 sont impairs; le lemme établi précédemment exige donc que P_2 soit divisible par 2. On peut donc poser $P_2=2\Pi_2$; l'équation (36) devient alors $Q_1^4=Q_2^8-3.2^4.7^4\Pi_2^4Q_2^4+2^{12}7^7\Pi_2^8=(Q_2^4-3.2^3.7^4\Pi_2^4)^2+2^6.7^7(2^6-7.3^2)\Pi_2^8$, et parce que $(2^6-7.3^2)=1$, plus simplement :

$$(37)\quad Q_1^4=(Q_2^4-3.2^3.7^4\Pi_2^2)+7(2^3.7^3.\Pi_2^4)^2.$$

21. Pour résoudre cette équation, il faut poser :

$$(38).\quad Q_1^2=f_2^2+7g_2^2,\ \pm Q_2^4=2^3.3.7^4\Pi_2^4=f_2^2-7g_2^2,\ f_2g_2=2^3.7^3.\Pi_2^4$$

f_2 ne peut être divisible par 7, puisque Q_1 ne peut l'être; f_2 et g_2 sont premiers entre eux, sans quoi Q_1 et Q_2 auraient des facteurs communs. Q_1 étant impair, il faut que l'un des deux nombres f_2 et g_2 soit pair; or ce ne peut être f_2, car g_2 étant alors pair,

le second membre de l'équation $Q_1^2 = f_2^2 + 7g_2^2$ serait de la forme $4n+3$, tandis que le premier membre est de celle $4n+1$; donc g_2 est pair, et f_2 impair. D'après ces conditions, la troisième des équations (38) ne peut se décomposer que de la manière suivante :

$$\Pi_2 = Q_3 P_3, \; f_2 = Q_3^4, \; g_2 = 2^2.7^3 P_3^4, \; (Q_3 \text{ premier avec } 2.7.Q_2).$$

La seconde des équations (38) devient ainsi $\pm Q_2^2 = Q_3^8 \pm 3.2^3.7^4 Q_3^4 P_3^4 - 7^7 2^4 P_3^8 = (Q_3^4 \pm 2^2.3.7^4 P_3^4) - 2^4.7^7(3^2.7+1)P_3^8$, et comme $7.3^2+1 = 64 = 2^6$, plus simplement $\pm Q_2^4 = (Q_3^4 \pm 2^2.3.7^4 P_3^4)^2 - 7(2^5.7^3 P_3^4)^2$. On voit ici que le signe inférieur n'est pas admissible, car on en déduirait que la somme de deux carrés d'impairs serait divisible par 2^{10}. On a donc nécessairement :

$$(39) \quad (Q_3^4 + 2^2.3.7^4.P_3^4)^2 = Q_2^4 + 7(2^5.7^3.P_3^4)^2.$$

22. Pour résoudre cette équation, on posera :

$$(40) \quad Q_3^4 + 2^2.3.7^4 P^4_3 = f_3^2 + 7g_3^2, \; \pm Q_2^2 = f_3^2 - 7g_3^2, \; f_3 g_3 = 2^4.7^3.P_3^4.$$

On verra, comme ci-dessus, que f_3 est premier avec $7g_3$; et la première (40), d'après le lemme établi, exige que f_3 soit impair et g_3 pair. Il n'y a donc d'autre moyen que le suivant de décomposer la troisième (40) :

$$P_3 = Q^4 P^4, \; f_3 = Q_4^4, \; g_3 = 2^4.7^3 P_4^4, \; (Q_4 \text{ premier avec } 2.7.Q_3).$$

La première équation (40) devient $Q_3^4 = Q_4^8 - 2^2.3.7^4 P_4^4 Q_4^4 + 7^7.2^8 P_4^8$, ou bien

$$(41) \quad Q_3^4 = (Q^4_4 - 2.3.7^4 P_4^4)^2 + 7(2.7.^3 P_4^4)^2.$$

23. Pour résoudre cette équation, il faut encore poser :

$$(42) \quad Q_3^2 = f_4^2 + 7g_4^2, \; \pm Q_4^4 \mp 2.3.7^4 P_4^4 = f_4^2 - 7g_4^2, \; f_4 g_4 = 7^3 P_4^4.$$

f_4 est encore nécessairement premier avec $7g_4$, et de même que la première (38), la première (42) démontre que f_4 est impair et g^4 pair. On est ainsi conduit à décomposer ainsi la troisième (42):

$$P_4=Q_5P_5,\ f_4=Q_5^4,\ g_4=7_3P_5^4,\ (Q_5 \text{ premier avec } 2.7.Q_4),\ (P_5 \text{ pair}).$$

La seconde (42) devient $\pm Q_4^4=(Q_5^4\pm 3.7^4P_5^4)^2-7(2^3.7^3.P_5^4)^2$, et l'on voit, comme plus haut, que le signe inférieur ne peut être admis, puisque P_5 est pair. On a donc nécessairement :

$$(43)\quad (Q_5^4+3.7.^4P_5^4)^2)=(Q_4^4+7(2^3.7^3.P^4_5)^2.$$

24. Pour résoudre cette équation, il faut de nouveau poser

$$(44)\quad Q_5^4+3.7.^4P_5^4=f_5^2+7g_5^2,\ \pm Q_4^2=f_5^2-7g_5^2,\ f_5g_5=2^2.7^3P_5^4.$$

P_5 étant pair, le lemme établi démontre que g_5 est pair, f_5 impair. On voit encore que f_5 est premier avec $7.g_5$; ce qui conduit à la décomposition suivante de la troisième (44) :

$$P_5=Q_6P_6,\ f_5=Q_6,\ g_5=2^2.7^3.P_6^4,(Q_6 \text{ premier avec } 2.7.Q_5),\ (P_6 \text{ pair}).$$

La première (44) devient alors

$$(45)\quad Q_5^4=Q_6^8-3.7^4P_6^4Q_6^4+2^4.7^7.P_6^8.$$

25. Or cette équation (45) est de la même forme que celle (36) d'où nous sommes partis; elle est seulement composée de nombres beaucoup plus petits. Ainsi s'il existe des nombres entiers U, V, W premiers entre eux qui vérifient l'équation

$$(46)\quad U^4=V^8-3.7^4V^4W^4+2^4.7^7.W^8.$$

il existera, par cela même, une autre solution, composée de nombres beaucoup plus petits. D'où il résulte, comme l'on sait, que l'équation (46) est impossible en nombres entiers finis. Donc

l'équation (30) est impossible aux mêmes conditions, et par suite l'équation (1) est dans le même cas.

Nota. Pour s'assurer que les nombres de la solution (45) sont réellement beaucoup moindres que ceux de l'équation (36), il suffira de remarquer que $P_2 = 2Q_3Q_4Q_5Q_6P_6$, que $Q_1^2 = f_2^2 + 7g_2^2 = Q_3^8 + 7^7(2^2.Q_4Q_6P_6)^2Q_5^2$; les nombres P_6 et Q_5 sont, dans l'équation (45) les homologues de P_2 et Q_1 dans celle (36); P_6 est nécessairement pair et ne peut être moindre que 2, ainsi que $P_5 = Q_6P_6$; $g_4 = 7^3P_5^4$ est donc plus grand que $7^3.2^4$; $Q_3 = \sqrt{f_2^2 + 7g_4^2}$ surpasse donc $\sqrt{1 + 7^7 2^8} > 2^5.7^3 = 10976$; ainsi P_6 est au moins 22,000 fois plus petit que P_2.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

L'INANITION,

PAR CHARLES CHOSSAT, M. D.

PRÉLIMINAIRES.

DE L'ALIMENTATION NORMALE.

Le travail que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie [1] a pour objet l'étude de l'inanition, c'est-à-dire la recherche des faits qui se rattachent à la privation complète ou incomplète des aliments. Mais, avant de passer à ce sujet, je dirai quelques mots de l'alimentation normale, afin de faire connaître l'état naturel des animaux que nous soumettrons à nos expériences, et de rendre plus facilement appréciables les résultats qu'ils nous fourniront plus tard.

Nous savons bien que, relativement au poids du corps, il existe une grande diversité dans la quantité d'aliments nécessaire aux différentes espèces d'animaux, depuis certains insectes qui en dévorent chaque jour le double de leur poids, jusqu'à ceux des animaux à sang froid, qui vivent pendant des années

[1] Ce Mémoire a été envoyé à l'Académie des sciences le 25 décembre 1838, et le prix de physiologie expérimentale pour 1841 lui a été décerné.

sans nourriture. Mais nous manquons de données précises à cet égard, ne connaissant guère que la quantité d'aliments que consomment quelques-uns de nos animaux domestiques, et cela encore sans que cette quantité ait été mise en regard du poids individuel de leur corps. Des données de cette nature seraient cependant bien faciles à obtenir au moyen des ménageries qui existent dans les grandes capitales, et l'on devrait pouvoir en retirer cet avantage-là.

A cet égard l'histoire de l'alimentation normale est donc encore à faire : mais, comme je n'avais à m'en occuper que d'une manière tout à fait accessoire, je ne l'ai un peu étudiée que sur les animaux que j'avais principalement choisis pour mes expériences, savoir : les pigeons et les tourterelles.

Les expériences ci-après ont pour but de rechercher chez ces animaux le rapport en question entre le poids de l'aliment et celui du corps. Nous allons immédiatement en présenter l'exposé.

EXPÉRIENCE PREMIÈRE.

Quatorze animaux (huit tourterelles et six pigeons) ont été soumis à un mode d'alimentation qui chez tous a présenté les conditions suivantes :

1° L'expérience n'a commencé qu'après que les animaux ont été habitués pendant quelques jours à leur nouveau domicile et au genre de vie auquel ils devaient être soumis;

2° L'aliment fourni a été le blé et l'eau; il a été donné en quantité surabondante, et le poids de ce qui a été consommé a été déterminé avec soin;

3° Au début du premier et à la fin du dernier jour de l'expérience, le corps a été pesé pour s'assurer de la variation qu'il pouvait avoir subie pendant l'alimentation.

Cette expérience nous a donné les résultats consignés dans le tableau ci-après.

TABEAU N° 1.	DURÉE de L'ALIMENTATION.	POIDS DU CORPS avec LES PLUMES.		ALIMENT JOURNALIER moyen.		FÈCES JOURNALIÈRES moyennes.		PLUMES pesées postérieurement.
		Poids initial.	Poids final.	Blé mangé.	Eau bue.	Fèces humides	Fèces sèches.	
	jours.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.
Tourterelle n° 1.....	5	112,41	114,28	10,81	8,55	—	3,03	8,87
——— 8.....	4	119,79	117,07	10,68	15,86	—	—	8,29
——— 22.....	7	127,43	137,79	17,03	23,50	—	3,92	12,75
——— 2	5	134,36	142,51	15,22	22,08	—	3,50	7,57
——— 21.....	7	138,82	150,15	16,57	18,97	—	4,09	11,27
——— 20.. ...	10	139,34	158,77	15,09	19,75	20,14	3,76	10,55
——— 19.....	10	140,70	151,19	14,44	19,23	13,98	3,72	11,27
——— 18.....	10	141,22	156,11	14,11	—	16,19	3,40	10,68
Moyenne....	7,25	131,76	140,98	14,24	18,28	16,77	3,63	10,16
Pigeon n° 32, 1re série..	30	207,98	352,76	30,29	—	—	—	22,08
——— » 2e série..	30	352,76	356,64	18,48	—	—	—	22,08
——— 31.....	30	214,00	336,31	26,81	—	—	—	24,60
——— 28.....	6	396,33	415,63	35,16	37,23	—	—	39,50
——— 26.....	11	404,36	430,46	31,08	33,73	30,30	8,11	36,84
——— 25.....	10	416,34	428,39	31,40	—	36,52	7,72	38,33
——— 27.....	12	462,18	513,14	35,61	42,41	33,73	9,47	41,83
Moyenne....	18,43	350,56	404,76	29,83	37,79	33,52	8,43	32,18

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. Les animaux ayant mangé à volonté, le poids du corps a très-sensiblement varié, et s'est élevé, valeur moyenne, pour les tourterelles, de $\frac{1}{20}$ sur $7\frac{1}{4}$ de jours d'alimentation; et, pour les pigeons, de $\frac{1}{7}$ sur $18\frac{1}{2}$ jours. Ces animaux ont engraissé ou ont eu un mouvement de croissance.

2. Si je présentais le tableau du poids quotidien de chacun d'eux pendant ces expériences (ce que je ne ferai point pour

abréger), l'on verrait que, déterminé chaque jour à la même heure, ce poids a varié plus ou moins.

C'est en effet un résultat que nous trouverons vérifié dans presque chacune des expériences de ce mémoire, que la grande variabilité de poids du corps. Cette variabilité, qui se lie à celle de la quantité des aliments journaliers, m'empêche d'admettre dans toute sa généralité l'aphorisme suivant de MM. Lavoisier et Seguin : « *Quelque quantité d'aliments que l'on prenne.....*, le même individu revient tous les jours, après la révolution de vingt-quatre heures, au même poids à peu près qu'il avait la veille, pourvu qu'il soit d'une forte santé, que sa digestion se fasse bien, qu'il n'engraisse pas, qu'il ne soit pas dans un état de croissance, et qu'il évite les excès. » (*Ann. de chim.* t. XC, p. 14). Cette assertion, vraie sans doute pour l'alimentation normale, n'est point également exacte pour toutes les grandes modifications de régime, et nous en aurons par la suite les preuves les plus multipliées[1].

3. La quantité de l'aliment consommé est énorme quand on la compare au poids du corps. C'est ainsi qu'en moyenne le blé mangé chaque jour est égal, pour les tourterelles, à $\frac{1}{10}$, et, pour les pigeons, à $\frac{1}{13}$ du poids moyen du corps, proportion considérable, et qui le paraîtra davantage encore si l'on réfléchit que, par sa dessiccation spontanée à l'air, l'aliment en question se trouve toujours à un grand état de concentration.

Si une pareille proportion d'aliments était nécessaire à tous les oiseaux, nous n'aurions presque pas besoin d'autres preuves pour reconnaître que les animaux qui produisent le plus de chaleur sont aussi ceux qui consomment le plus d'aliments; mais j'ignore jusqu'à quel point ces résultats peuvent se généraliser.

[1] Je fais ici cette remarque, parce que l'aphorisme ci-dessus m'a induit en erreur dans une partie de ce que j'ai dit (dès l'année 1824) sur la balance diurne (des *ingesta* et des *excreta*) dans mon Mémoire sur l'analyse des fonctions urinaires. (Voir à cet égard la fin du § 1 de l'alimentation insuffisante dans le présent Mémoire.)

4. En comparant la consommation d'eau à celle de blé, l'on trouve :

TABLEAU N° 2.	CONSOMMATION JOURNALIÈRE moyenne.	
	Blé.	Eau.
	gram.	gram.
7 tourterelles	14,26	18,28
3 pigeons	34,08	37,79
SOMME	48,34	56,07

D'où l'on voit que la quantité d'eau et celle de blé sont entre elles = 1,16 : 1,00, c'est-à-dire à très-peu près comme 7 : 6.

5. Quant aux fèces, elles ont été pesées : *a*, à l'état humide, telles qu'on les recueillait à la fin de chaque journée, c'est-à-dire après avoir déjà éprouvé un commencement de dessiccation à l'air : *b*, à l'état sec, après une exposition à l'air continuée de plusieurs semaines à plusieurs mois, ce qui les ramenait à un degré de dessiccation correspondant à celui de l'aliment.

J'ai obtenu ainsi les résultats suivants :

TABLEAU N° 3.	MOYENNE DIURNE.	
	Blé.	Fèces sèches.
	gram.	gram.
7 tourterelles	14,75	3,63
3 pigeons	32,70	8,43
SOMME	47,45	12,06

Nous conclurons de là qu'à égal degré de dessiccation, le poids des fèces représente à peu près le quart de celui du blé consommé.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Vingt-deux pigeons ont été nourris en leur ingérant des quantités de blé pesées d'avance, et en leur donnant de l'eau à volonté. Ils nous ont fourni vingt-sept séries alimentaires différentes, dont les résultats sont exposés dans le tableau ci-après :

TABLEAU N° 4.	POIDS DU CORPS.		ALIMENTATION DIURNE moyenne.		DURÉE de la série.
	Poids initial.	Poids final.	Blé ingéré.	Eau bue.	
	gram.	gram.	gram.	gram.	jours.
Pigeon n° 1.....	376,65	405,59	35,03	79,39	16
—— 2.....	406,18	392,13	30,67	57,82	19
—— 5.....	304,97	384,03	35,29	43,47	14
—— 6.....	311,90	381,38	34,40	100,93	16
—— 7.....	423,21	463,16	43,53	40,54	18
—— 8.....	466,65	463,67	38,85	41,76	9
—— 9.....	383,51	390,89	33,01	30,00	25
—— 10.....	410,55	401,60	31,30	31,85	12
—— 11.....	333,92	302,12	22,08	—	64
—— 12.....	343,43	299,79	24,28	—	16
—— 13.....	322,00	322,00	23,92	—	36
—— 14.....	311,96	318,38	23,38	—	25
—— 15, 1re série.	305,43	276,87	25,90	22,35	16
—— // 2e série.	276,87	327,38	29,14	—	46
—— 16.....	309,37	322,84	28,33	22,78	16
—— 17, 1re série.	359,17	321,87	28,74	25,85	16
—— // 2e série.	321,87	402,16	35,01	—	25
—— 18, 1re série.	359,22	410,38	43,04	37,22	17
—— // 2e série.	410,38	398,21	24,97	—	7
—— 19, 1re série.	376,20	399,51	39,66	34,59	16
—— // 2e série.	399,51	392,19	25,90	—	8
—— 20, 1re série.	331,19	344,34	32,38	40,10	16
—— // 2e série.	344,34	371,60	28,33	—	16
—— 21.....	454,61	442,37	37,08	47,00	22
—— 22.....	339,94	374,90	42,38	38,02	22
—— 23.....	350,10	360,53	36,79	34,22	22
—— 24.....	375,81	418,35	36,79	41,76	22
MOYENNE....	359,59	373,64	32,23	42,76	21

Nous ferons sur ces résultats les observations suivantes :

1. La comparaison du poids moyen du corps au début et à la fin de l'ensemble de ces vingt-sept séries prouve qu'en général le régime a été en quantité surabondante, puisque, sur une durée moyenne de 21 jours, le corps a augmenté de $\frac{1}{26}$ de son poids initial.

2. En rapprochant la moyenne de l'aliment quotidien de celle du poids initial, l'on obtient $\begin{cases} \text{blé} = \frac{1}{11} \\ \text{eau} = \frac{1}{8,4} \end{cases}$ environ du poids initial du corps. En calculant les moyennes sur les journées d'alimentation, et non plus sur la moyenne des séries, on arrive sensiblement au même résultat.

3. Pour ceux des animaux qui ont fourni deux séries (pig. 15, 17, 18, 19 et 20), l'on voit, en comparant l'une de ces séries à l'autre, qu'une augmentation de poids de l'aliment est toujours suivie d'une augmentation de poids du corps. Il n'y a que le 20e pigeon qui ait fait exception à cela, peut-être parce que l'aliment de la deuxième série, quoique diminué relativement à la première, était encore en proportion surabondante pour les besoins du corps.

4. Chez les dix-huit animaux chez lesquels les quantités de blé et d'eau ont été déterminées, la consommation d'eau a été à celle de blé $= \frac{42,76}{35,17}$; c'est-à-dire que la quantité d'eau a dépassé celle de blé de $\frac{1}{5}$.

Le résultat général des vingt et une séries alimentaires des tableaux 1 et 4 donne, pour la consommation relative d'eau et de blé, le rapport $\frac{42,05}{35,00} = 1,20$.

Essayons maintenant de combiner quelques-uns de ces résultats.

a. Le blé arrivé dans l'estomac absorbe une partie des liquides qu'il y rencontre, et augmente par là de volume et de poids.

C'est là le premier temps de la digestion chez les oiseaux. C'est ainsi que, dans quelques expériences dont il sera parlé plus tard, ayant retrouvé dans l'estomac et le jabot une certaine quantité de blé qui y avait séjourné quelque temps, je l'ai pesé immédiatement au sortir du corps; après quoi, l'ayant laissé se dessécher complétement, je l'ai repesé de nouveau, et j'ai trouvé :

TABLEAU N° 5.	POIDS HUMIDE.	POIDS SEC.
	gram.	gram.
Blé entier, non digéré, retrouvé dans le jabot.	71 ,61	43 ,77

Ainsi pour devenir digestible ce blé avait absorbé les 0,6 de son poids d'eau. Et comme le poids des boissons = 1,20 de celui du blé, il en résulte que les $\frac{0,6}{1,2}$, soit la moitié de l'eau que l'animal consomme, est employée à gonfler le blé, à le liquéfier, en quelque sorte, et à le rendre susceptible d'être digéré.

b. En recourant maintenant à notre tableau n° 1, l'on trouvera que le poids des boissons et celui des fèces sèches et humides n'ont été déterminés simultanément que sur quatre animaux, savoir deux tourterelles et deux pigeons. Prenant la moyenne des quatre expériences, l'on obtient :

TABLEAU N° 6.	EAU BUE.	FÈCES HUMIDES.	
		Eau des fèces.	Fèces sèches.
	gram.	gram.	gram.
Moyenne diurne des quatre animaux...	28 ,78	18 ,27	6 ,26

D'où l'on voit que l'eau des fèces est assez sensiblement égale aux 0,66 de celle prise par l'animal. Les 0,33 restant doivent passer par l'exhalation.

Ces résultats préliminaires établis, passons maintenant à l'étude de l'*inanitiation*, c'est-à-dire à l'examen des faits qui se rapportent à la production graduelle et successive de l'état d'inanition[1].

PREMIÈRE PARTIE.

DES EFFETS DE L'INANITIATION SUR LE POIDS DU CORPS.

Quelque nécessaire qu'il eût été de connaître d'une manière approfondie les effets de la privation complète ou incomplète des aliments, puisque pour le médecin c'est la question de tous les jours, cependant cette importante étude n'a point encore été entreprise par la méthode expérimentale, la seule qui fût capable de l'éclairer complétement. Ce n'est pas que nous manquions d'*observations* d'individus soumis à une abstinence prolongée, tantôt volontairement, comme chez quelques aliénés, tantôt d'une manière forcée, à la suite de naufrages, d'éboulements, etc. non plus que d'histoires merveilleuses de personnes qui ont paru supporter un jeûne continué pendant des mois et des années : mais des observations de cette nature, presque toutes isolées, incomplètes ou absurdes, ne peuvent donner que des notions superficielles ou erronées, et ne contribuent à peu près en rien à l'étude expérimentale de la question.

A ma connaissance, les seules expériences que nous ayons sur ce sujet sont celles que fit le célèbre Rédi, et qui se trouvent dans son Traité des animaux vivants (Florence, 1684). Ces expériences sont surtout remarquables par la variété d'animaux qui

[1] Je me vois à regret obligé de créer un nouveau terme, en suivant du reste les analogies grammaticales, pour exprimer le passage graduel du corps à un état qui n'est réellement de l'inanition que lors de sa terminaison. L'inanition, à proprement parler, n'est que la fin de l'inanitiation.

y ont été soumis; car d'ailleurs elles se bornent essentiellement à indiquer la durée de la vie des animaux privés de toute nourriture, et ne donnent qu'un résultat brut, qui aurait eu besoin d'être analysé [1].

Laissant de côté les recherches d'érudition, dont j'ai cru pouvoir me dispenser entièrement, puisque je n'avais qu'un mémoire, et un mémoire expérimental à présenter, mais que je me serais certainement imposées, si j'avais eu un traité *ex professo* à rédiger sur le sujet, je me hâte de passer à l'exposé de mes recherches particulières, et c'est par l'étude de l'abstinence complète des aliments que nous allons commencer.

I. DE L'ABSTINENCE COMPLÈTE DES ALIMENTS.

Les expériences dont nous allons rendre compte ont été faites sur plusieurs espèces d'animaux : sur des pigeons, des tourterelles, des poules, des corneilles, des cochons d'Inde et des lapins. Quelques recherches ont été tentées aussi sur des animaux à sang froid. Ces expériences sont nombreuses, et elles portent sur des animaux assez différents pour permettre d'en généraliser les conclusions, et d'en appliquer les résultats à beaucoup plus d'espèces que celles qui les ont fournies. Cela est de toute évidence.

Ces expériences ont été faites de la manière suivante :

1° Des animaux, pour la plupart ceux-mêmes dont nous avions étudié l'alimentation normale dans les expériences 1 et 4, ont été privés de toute nourriture quelconque, jusqu'à terminaison de l'expérience par la mort réelle ou par la mort imminente, ce dernier état ne précédant la mort réelle que de quelques instants seulement. 2° Dans les deux tiers environ des expériences, les animaux ont été privés de boissons aussi bien que d'aliments; dans l'autre tiers, on leur a fourni de l'eau à

[1] Lors de la rédaction de ce Mémoire je ne connaissais pas le travail intéressant de M. Collart de Martigny sur le même sujet. (*Journ. physiol.* de Magendie, 1828.)

volonté, et l'on s'est presque toujours assuré de la quantité qu'ils en avaient consommée. 3° Depuis le commencement de l'expérience jusqu'à la fin, c'est-à-dire pendant toute la durée de l'inanitiation, les animaux, à quelques exceptions près, ont été pesés tous les jours, et cela autant que possible pour chaque animal à l'heure du début de son expérience. Dans tous les cas, le poids initial et le poids final ont été déterminés, c'est-à-dire le poids du corps au début de l'abstinence, et celui au moment de la mort réelle ou imminente.

Présentons maintenant le détail de toutes ces expériences :

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Quinze tourterelles ont été soumises à la privation complète des aliments : quatre d'entre elles avec privation des boissons, les onze autres avec de l'eau à volonté.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

Vingt pigeons ont été soumis à la privation complète des aliments : dix-sept d'entre eux avec privation des boissons, trois autres avec de l'eau à volonté.

CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

Deux poules et une corneille ont été soumises à la privation complète desaliments et des boissons.

SIXIÈME EXPÉRIENCE.

Cinq cochons d'Inde ont été soumis à la privation complète des aliments et des boissons.

SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

Cinq lapins ont été soumis à la privation complète des aliments : trois d'entre eux avec privation des boissons, les deux autres avec de l'eau à volonté.

Ces quarante-huit animaux nous ont fourni les résultats que

nous présentons dans le tableau ci-joint (n° 7), et que nous allons maintenant discuter.

TABLEAU N° 7.	ALIMENTATION QUOTIDIENNE.		POIDS DU CORPS.		PERTE DE POIDS DU CORPS.				DURÉE de LA VIE.
					PERTE INTÉGRALE		PERTE DIURNE		
	Aliment.	Boisson.	POIDS initial.	POIDS final.	absolue.	proportionnelle.	absolue.	proportionnelle.	
		gram.	gram.	gram.	gram.		gram.		jours cent.
Tourterelle n° 23..	0	1 ,23	105 ,61	76 ,99	28 ,62	0 ,271	6 ,87	0 ,065	4 ,17
—— 3..	"	2 ,20	108 ,46	80 ,68	27 ,78	0 ,256	9 ,14	0 ,084	3 ,04
—— 4..	"	Non pesée.	117 ,20	90 ,84	26 ,36	0 ,225	13 ,11	0 ,112	2 ,01
—— 6..	"	6 ,41	124 ,64	84 ,43	40 ,21	0 ,323	8 ,29	0 ,066	4 ,85
—— 24..	"	3 ,88	130 ,41	80 ,16	50 ,25	0 ,385	5 ,91	0 ,045	8 ,50
—— 5..	"	0 ,91	132 ,54	89 ,16	43 ,38	0 ,327	7 ,54	0 ,057	5 ,75
—— 7..	"	Quelque peu.	146 ,40	99 ,65	46 ,75	0 ,319	9 ,15	0 ,062	5 ,12
—— 17..	"	0	149 ,44	89 ,68	59 ,76	0 ,400	8 ,49	0 ,057	7 ,04
—— 19..	"	3 ,30	151 ,19	96 ,28	54 ,91	0 ,363	11 ,16	0 ,074	4 ,92
—— 18..	"	Quelque peu.	156 ,11	95 ,51	60 ,60	0 ,388	13 ,47	0 ,086	4 ,50
—— 20..	"	3 ,75	158 ,25	97 ,90	60 ,35	0 ,381	7 ,32	0 ,046	8 ,25
—— 28..	"	0	167 ,44	90 ,97	76 ,47	0 ,457	5 ,37	0 ,032	14 ,25
—— 15..	"	0	190 ,82	100 ,30	90 ,52	0 ,474	7 ,84	0 ,041	11 ,54
—— 10..	"	7 ,05	192 ,76	110 ,85	81 ,91	0 ,425	8 ,26	0 ,043	9 ,92
—— 29..	"	0	206 ,42	104 ,31	102 ,11	0 ,495	5 ,71	0 ,028	17 ,71
Pigeon n° 30.....	0	0	276 ,74	161 ,94	114 ,80	0 ,415	21 ,38	0 ,077	5 ,37
—— 33.....	"	"	291 ,76	160 ,64	131 ,12	0 ,449	13 ,57	0 ,046	9 ,66
—— 12.....	"	"	299 ,79	179 ,10	120 ,69	0 ,403	12 ,70	0 ,042	9 ,50
—— 34.....	"	"	311 ,77	180 ,85	130 ,92	0 ,420	14 ,31	0 ,046	9 ,15
—— 14.....	"	"	318 ,38	200 ,27	118 ,11	0 ,371	8 ,58	0 ,027	13 ,76
—— 16.....	"	"	322 ,84	223 ,06	99 ,78	0 ,309	19 ,15	0 ,059	5 ,21
—— 31.....	"	"	336 ,31	165 ,63	170 ,68	0 ,508	8 ,36	0 ,025	20 ,42
—— 32.....	"	"	356 ,64	194 ,57	162 ,07	0 ,454	8 ,66	0 ,024	18 ,71
—— 20.....	"	"	371 ,60	229 ,21	142 ,39	0 ,383	11 ,28	0 ,030	12 ,62
—— 22.....	"	"	374 ,90	225 ,33	149 ,57	0 ,399	15 ,74	0 ,042	9 ,50
—— 6.....	"	"	381 ,38	182 ,59	198 ,79	0 ,521	11 ,84	0 ,031	16 ,79
—— 2.....	"	"	392 ,13	208 ,36	183 ,77	0 ,469	12 ,36	0 ,032	14 ,87
—— 18.....	"	"	398 ,21	265 ,80	132 ,41	0 ,333	16 ,35	0 ,041	8 ,10
—— 10.....	"	"	401 ,58	246 ,18	155 ,40	0 ,387	16 ,80	0 ,042	9 ,25
—— 25.....	"	4 ,66	428 ,39	251 ,55	176 ,84	0 ,413	17 ,68	0 ,041	10 ,00
—— 26.....	"	6 ,66	430 ,46	246 ,50	183 ,96	0 ,427	15 ,66	0 ,036	11 ,75
—— 21.....	"	0	442 ,50	270 ,98	171 ,52	0 ,388	17 ,81	0 ,040	9 ,63
—— 4.....	"	"	463 ,48	247 ,41	216 ,07	0 ,466	37 ,45	0 ,081	5 ,77
—— 8.....	"	"	463 ,67	281 ,73	181 ,94	0 ,392	21 ,30	0 ,046	8 ,54
—— 27.....	"	8 ,35	513 ,14	299 ,66	213 ,48	0 ,416	15 ,63	0 ,030	13 ,66
Corneille n° 1.....	0	0	394 ,26	271 ,69	122 ,57	0 ,311	33 ,58	0 ,085	3 ,65
Poule n° 1.....	0	0	951 ,76	448 ,72	503 ,04	0 ,529	28 ,24	0 ,030	18 ,48
—— 2.....	"	"	1,019 ,75	484 ,46	535 ,29	0 ,525	28 ,10	0 ,028	19 ,05
Cochon d'Inde n° 5.	0	0	459 ,40	312 ,09	147 ,31	0 ,321	29 ,58	0 ,064	4 ,98
—— 2.	"	"	460 ,76	312 ,35	148 ,41	0 ,322	20 ,58	0 ,045	7 ,21
—— 3.	"	"	516 ,77	339 ,35	177 ,42	0 ,343	29 ,13	0 ,056	6 ,09
—— 1.	"	"	604 ,38	399 ,90	204 ,48	0 ,338	34 ,19	0 ,057	5 ,98
—— 4.	"	"	687 ,64	464 ,97	222 ,67	0 ,324	26 ,20	0 ,038	8 ,50 environ.
Lapin n° 4.....	0	6 ,92	1,092 ,59	660 ,51	432 ,08	0 ,395	46 ,30	0 ,042	9 ,33 environ.
—— 5.....	"	0	1,354 ,05	886 ,75	467 ,30	0 ,345	77 ,88	0 ,058	6 ,00
—— 2.....	"	"	1,433 ,43	991 ,78	441 ,65	0 ,308	38 ,40	0 ,027	11 ,50 environ.
—— 1.....	"	19 ,04	1,511 ,13	931 ,10	580 ,03	0 ,384	35 ,15	0 ,023	16 ,50 environ.
—— 3.....	"	0	1,811 ,64	1,022 ,66	788 ,98	0 ,436	57 ,17	0 ,032	13 ,80

DE LA DIMINUTION DE POIDS DU CORPS.

Le résultat le plus constant, et en même temps le plus important de la privation des aliments, c'est la diminution graduelle de poids du corps. Nous allons entrer, à cet égard, dans d'assez grands détails; et, pour mettre plus d'ordre dans ce que nous avons à dire, nous diviserons la perte de poids en *perte diurne* et en *perte intégrale*, c'est-à-dire en perte relative à un seul jour, et en perte qui se rapporte à la durée entière de l'inanitiation.

A. DE LA PERTE DIURNE.

Pour déterminer la perte de poids que le corps éprouve d'un jour à l'autre, il faudrait peser les animaux précisément à la même heure chacun des jours de l'inanitiation. Dans le détail journalier des expériences dont notre 7^{e} tableau ne présente que le résumé, quoique les pesées aient été faites presque toujours à la même heure, cependant je m'en suis quelquefois un peu écarté. Alors, les différences de poids ne correspondant pas toujours à des intervalles de temps parfaitement égaux, ces différences ne représentent pas les variations diurnes exactes. Mais, comme j'ai toujours eu soin de noter l'heure précise des pesées, en divisant la différence de poids par le temps écoulé, j'en ai déduit la perte horaire moyenne, perte que j'ai ensuite multipliée par 24, pour la transformer en perte diurne vraie. En répétant cette opération pour chaque jour des expériences, j'ai obtenu la série des pertes diurnes vraies pour chacun des jours de l'inanitiation[1].

[1] Il est à observer que, de cette manière, le dernier jour des expériences est représenté comme un jour plein, quoiqu'il n'ait été le plus souvent qu'une fraction de jour; mais cela est sans importance pour ce que j'aurai à en dire ici.

Voici le tableau de ces pertes diurnes pour ceux de nos pigeons et de nos tourterelles dont le corps a été pesé journellement (tableau 8).

TABLEAU N° 8. PERTE DE POIDS DIURNE

	TOURTERELLES.							
	7.	17.	19.	18.	20.	28.	15.	
	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gra
1er jour de l'inanitiation	11,66	9,62	18,34	24,38	17,88	9,31	13,68	14
2e *idem*	7,78	6,22	9,62	11,35	7,78	5,76	7,78	
3e *idem*	8,23	5,14	8,86	8,54	6,05	6,84	6,67	
4e *idem*	8,23	6,98	9,48	9,79	5,28	4,66	6,05	
5e *idem*	10,56	8,71	8,86	12,89	6,05	4,34	5,28	
6e *idem*	0,00	10,10	//	//	5,45	4,34	4,82	
7e *idem*		12,58	//	//	5,59	4,34	5,45	
8e *idem*		//	//	//	5,45	3,72	7,30	
9e *idem*	//	//	//	//	4,66	4,34	7,15	
10e *idem*	//	//	//	//	//	3,89	7,92	
11e *idem*	//	//	//	//	//	4,66	10,87	
12e *idem*	//	//	//	//	//	4,82	13,82	
13e *idem*	//	//	//	//	//	5,90	//	
14e *idem*	//	//	//	//	//	8,40	//	
15e *idem*	//	//	//	//	//	2,28	//	
16e *idem*	//	//	//	//	//	//	//	
17e *idem*	//	//	//	//		//	//	
18e *idem*	//	//	//	//	//	//	//	
19e *idem*	//	//	//	//	//	//	//	
	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	
DURÉE DE L'INANITIATION	5,12	7,04	4,92	4,50 environ.	8,25 environ.	14,25	11,54	

OUR DE L'INANITIATION.

PIGEONS.

	32.	20.	22.	6.	2.	10.	25.	26.	21.	4.	8.	27,
n.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gram	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.	gramm.
32	14,45	27,65	23,93	33,26	19,73	25,63	32,16	30,60	25,32	49,42	46,46	32,02
56	9,02	13,82	15,84	16,46	16,78	17,09	17,09	16,78	14,61	38,86	26,26	13,68
34	9,79	11,18	13,20	14,76	13,51	13,51	17,40	10,10	15,38	35,59	21,29	11,66
32	8,86	12,74	12,89	12,74	11,04	11,98	13,20	13,68	11,50	33,86	15,70	11,81
56	7,46	9,48	12,12	11,98	10,25	12,12	10,10	7,92	16,32	35,28	13,37	7,61
10	7,15	10,42	11,50	10,73	9,48	13,68	11,35	10,56	14,93	27,19	12,29	5,14
79	6,84	8,54	11,98	10,73	8,54	16,01	11,98	10,25	15,53	//	15,84	10,10
12	7,78	7,61	13,51	9,31	8,23	17,57	13,82	11,50	17,40	//	21,29	14,30
96	6,84	8,23	20,21	9,02	9,48	19,90	20,04	14,14	16,01	//	18,02	15,24
78	6,53	7,61	28,44	8,54	10,56	32,16	29,83	18,65	41,95	//	//	6,22
	6,53	8,86	//	8,86	11,18	//	//	25,80	//	//	//	12,89
	7,15	10,42	//	7,92	12,74	//	//	18,79	//	//	//	25,94
	6,84	8,71	//	8,23	14,61	//	//	//	//	//	//	29,06
	7,15	//	//	8,40	14,76	//	//	//	//	//	//	27,82
	7,78	//	//	9,17	14,61	//	//	//	//	//	//	//
	9,00	//	//	9,17	//	//	//	//	//	//	//	//
	10,10	//	//	11,98	//	//	//	//	//	//	//	//
	12,12	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
	14,14	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
s	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours	jours
5	18,71	12,62	9,50	16,79	14,87	9,25	10,00	11,75	9,63	5,77	8,54	13,66

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. Toutes choses égales d'ailleurs, et en particulier à égale durée de l'inanitiation, la perte diurne est d'autant plus forte que l'animal est plus volumineux.

2. Tout en diminuant de poids chaque jour, le corps ne perd cependant point d'une manière uniforme. Pour en donner quelques exemples, nous trouvons :

TABLEAU N° 9.	PERTE DIURNE.	
	Maximum.	Minimum.
	gram.	gram.
Tourterelle n° 20	17,88	5,28
—— — — 10	16,15	5,45
Pigeon n° 26	30,60	7,92
—— 27	32,02	5,14

L'on voit par là que, chez le même animal et en temps égaux, il y a des pertes maximum et des pertes minimum, et que ces pertes extrêmes peuvent être entre elles dans le rapport de 6 : 1.

3. La perte maximum a été en général au début, quelquefois vers la fin, jamais au milieu de l'expérience. Ainsi, dans les 24 expériences du tableau n° 8, l'on a eu :

Perte maximum le 1^er^ jour de l'expérience..... 17 fois.
Perte maximum l'un des derniers jours de l'expérience 7 fois.

La présence du maximum au début tient surtout à ce que, le premier jour de l'abstinence, le corps expulse le résidu de l'aliment ingéré la veille. Aussi, quand on fait abstraction de ce premier jour, trouve-t-on qu'en général les pertes diurnes ne diffèrent plus beaucoup d'un jour à l'autre.

4. La perte minimum a été en général vers le milieu, quelquefois à la fin, jamais au commencement des expériences : ainsi, dans les mêmes 24 expériences, l'on a eu :

Perte minimum vers le milieu de l'expérience.... 22 fois.
Perte minimum le dernier jour[1]..... 2 fois.

5. Les expériences ci-dessus ayant une durée corrélative très-différente, l'on ne saurait en comparer entre eux les jours de même nom. Pour établir cette comparaison, j'ai divisé chaque expérience en trois parties de durée autant que possible égale. J'ai pris la moyenne diurne de chacun de ces tiers de série, et, additionnant entre elles les moyennes des tiers de même nom, j'en ai formé le tableau suivant :

TABLEAU N° 10.	PERTE DIURNE. SOMME DES MOYENNES DIURNES des tiers de série de même nom.		
	1er tiers.	2e tiers.	3e tiers.
	gram.	gram.	gram.
9 tourterelles.....	91,37	59,59	76,68
15 pigeons.....	301,01	198,72	269,95
Somme générale.....	392,38	258,31	346,63

Ce tableau nous montre que les pertes des deux tiers extrêmes sont des maximum, et celle du tiers moyen un minimum. En prenant la somme de tous les résultats de même nom, l'on voit que la perte du tiers moyen est à celle de l'un ou de l'autre des deux extrêmes, supposés égaux, = 2 : 3 environ.

Les deux tiers extrêmes, sans être de même valeur, diffèrent cependant peu l'un de l'autre ; et même ils se rapprocheraient beaucoup de l'égalité, si l'on faisait abstraction du premier jour

[1] Je dois avertir que pour ces conclusions j'ai négligé le dernier jour de la vie, lorsque la perte diurne qui y correspond n'a pas été déduite de plus de cinq heures de temps, parce qu'aux approches de la mort l'on ne saurait conclure avec exactitude d'un cinquième de jour à la journée entière, comme nous le verrons bientôt. C'est ainsi que j'exclus le dernier jour des quatre expériences suivantes : Pigeon 34 : — tourterelles 7, 20 et 28.

de l'abstinence, où l'excès de perte est dû en grande partie à l'évacuation du résidu de l'alimentation antécédente.

Ainsi, dans les deux moitiés de l'expérience, l'on peut regarder la perte comme étant assez sensiblement égale.

6. L'augmentation relative de la perte vers la fin de la vie est d'autant plus digne d'être remarquée, qu'elle est contraire à ce qui semblerait devoir arriver, puisque plus le corps a perdu, et moins il devrait avoir à perdre. Elle a en général coïncidé avec une augmentation plus ou moins grande des fèces, augmentation allant quelquefois jusqu'à la diarrhée, comme dans les affections colliquatives.

Il est à observer toutefois que, s'il y a augmentation de la perte dans le dernier tiers des séries, cette augmentation, en général, a tout à fait cessé quelques heures avant la mort; de telle façon, par exemple, qu'un animal qui venait de perdre 0^{gram} 5 par heure, ne perdait quelquefois plus rien du tout pendant les deux ou trois dernières heures de la vie, comme si l'exhalation d'acide carbonique et de vapeur d'eau eût été suspendue en même temps que les autres excrétions du corps. L'on en a des exemples dans les tourterelles 7 et 28, sans parler de quelques autres dont nous aurons occasion de nous occuper plus tard[1]. (Tableau n° 101.)

B. DE LA PERTE INTÉGRALE

C'est ici que va se présenter l'une des plus belles questions que nous ayons à résoudre, celle de déterminer la valeur de la perte de poids à laquelle la vie cesse d'être possible. L'on conçoit sans peine, en effet, que le poids du corps ne puisse pas diminuer d'une manière indéfinie, et qu'il existe certaines limites

[1] C'est aussi une des raisons pour lesquelles, dans les déductions ci-dessus, j'ai rejeté le dernier jour quand il n'était pas représenté par plus de cinq heures de temps, parce que, dans ces dernières heures, la perte de poids n'est point proportionnée à la perte moyenne des dernières vingt-quatre heures de la vie.

de déperdition qui ne se franchissent jamais. Ce sont ces limites, dont les applications pratiques doivent être d'un si haut intérêt, que nous allons chercher à reconnaître.

Perte intégrale absolue. D'après l'inspection de notre 7e tableau, l'on voit que rien n'a plus varié que la valeur absolue de la perte de poids chez les animaux inanitiés de même espèce : ainsi, par exemple, chez la tourterelle n° 4, la perte de poids au moment de la mort était = 26gram 4, tandis qu'elle était = 102gram 1, c'est-à-dire à peu près quatre fois plus forte chez la tourterelle n° 29.

Cette différence, qui se rencontre à un degré plus ou moins prononcé dans toutes les autres expériences du même tableau, et qui se rattache à des différences corrélatives dans le poids normal des animaux qui la présentent, nous montre que, chez les animaux de même espèce, les plus gros sont en général ceux qui, jusqu'au moment de la mort, ont éprouvé la perte de poids la plus considérable.

Perte intégrale proportionnelle. La valeur absolue de la perte de poids ne nous donnant pas, comme on voit, des résultats indépendants du poids individuel des animaux, ce n'est pas elle qui peut nous fournir la clef de la loi générale qui régit cette classe de faits. Mais il n'en est pas de même de la valeur relative de cette perte, c'est-à-dire du rapport de sa valeur absolue à celle du poids normal, soit initial du corps. Ce rapport extrêmement important est ce que nous désignerons par la suite sous le nom de *perte proportionnelle ;* et nous lui adjoindrons les épithètes d'*intégrale* ou de *diurne,* selon que nous aurons à désigner la perte relative à la totalité ou celle relative à un seul des jours de la série d'inanitiation.

Pour mettre bien en évidence le résultat général auquel je suis parvenu, quant à la valeur de la perte intégrale à laquelle la vie cesse d'être possible, prenons, pour chaque espèce d'animaux séparément, la somme des résultats individuels sur le poids initial et sur le poids final que présente notre 7e tableau,

et rapprochons les unes des autres les sommes partielles que l'on obtient ainsi; nous aurons :

TABLEAU N° 11.	POIDS DU CORPS COLLECTIF. Poids initial.	Poids final.	PERTE INTÉGRALE PROPORTIONNELLE. Moyennes particulières.
	grammes	grammes	
15 Tourterelles.....	2,237,69	1,387,71	0,379
20 Pigeons.....	7,575,67	4,421,36	0,416
2 Poules.....	1,971,51	933,18	0,527
1 Corneille.....	394,26	271,69	0,311
5 Cochons d'Inde.....	2,728,95	1,828,66	0,330
5 Lapins.....	7,202,84	4,492,80	0,374
48 Expériences. SOMME.....	22,110,92	13,335,40	

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. La moyenne générale de la perte intégrale proportionnelle pour ces quarante-huit expériences $= \frac{22110,92 - 13335,40}{22110,92} = 0,397$, ou en nombre rond $= 0,400$; c'est-à-dire qu'en moyenne nos animaux inanitiés ont péri lorsque leur perte s'est élevée aux 0,4 de leur poids initial.

2. En comparant cette moyenne générale avec les moyennes partielles relatives à chaque espèce d'animaux, l'on voit que celles-ci se sont en général peu écartées de la première, l'écart maximum étant $= 0,130$.

3. En comparant entre elles les moyennes d'espèce à espèce, l'on voit :

a. Qu'entre quelques espèces d'une même classe les moyennes

diffèrent plus qu'entre des espèces appartenant à deux classes différentes : ainsi, par exemple, les oiseaux diffèrent plus les uns des autres que quelques-uns d'entre eux ne diffèrent des mammifères;

b. Que les moyennes relatives aux deux espèces les plus éloignées par leur poids (les tourterelles et les lapins) sont à peu près identiques entre elles, quoique les poids initiaux moyens de ces deux espèces soient respectivement dans le rapport de $\frac{149,2}{1440,6}$ c'est-à-dire à peu près = 1 : 10.

Il résulte de là la conséquence intéressante que, chez les animaux à sang chaud, la perte intégrale proportionnelle paraît être tout à fait indépendante de la classe à laquelle un animal appartient, ainsi que du poids normal de son espèce.

4. En examinant cependant les détails du tableau n° 7, l'on observe des différences assez notables dans quelques-uns des résultats individuels d'une même espèce. Nous nous bornerons pour le moment à les signaler ici, devant nous en occuper spécialement un peu plus tard.

Ainsi voilà la loi générale de l'inanitiation : c'est qu'un animal périt lorsqu'il a perdu environ les 0 ,4 de son poids normal. L'on conçoit de quelle haute importance est ce résultat, et de combien d'applications pratiques il est susceptible.

Avant de quitter ce sujet, je dirai quelques mots de la perte diurne proportionnelle, dont à dessein j'ai renvoyé de m'occuper jusqu'à ce que j'eusse expliqué ce que j'entendais par une perte proportionnelle. En prenant la somme des poids initiaux et celle des pertes diurnes absolues, séparément pour chacune des espèces que renferme notre 7^{e} tableau, nous aurons :

TABLEAU N° 12.			POIDS INITIAL COLLECTIF.		PERTE DIURNE ABSOLUE, COLLECTIVE.	
			grammes		grammes	
Oiseaux.	15	Tourterelles...	2,237,69	12,179,13	127,63	534,16
	20	Pigeons.....	7,575,67		316,61	
	2	Poules.....	1,971,51		56,34	
	1	Corneille.....	394,26		33,58	
Mammifères.	5	Cochons d'Inde.	2,728,95	9,931,79	139,68	394,58
	5	Lapins.....	7,202,84		254,90	
Somme....	48	animaux.....	.....	22,110,92	.....	928,74

L'on déduit de là, pour la perte proportionnelle diurne, les valeurs suivantes :

Pour les oiseaux..... = 0,044.
Pour les mammifères..... = 0,040.
Collectivement, pour les oiseaux et les mammifères..... = 0,042.

c'est-à-dire que la perte moyenne pendant chaque jour de l'inanitiation a été pour les oiseaux $= \frac{44}{1000}$; pour les mammifères $= \frac{40}{1000}$; et pour tous ces animaux collectivement, sans distinction de classe, $= \frac{42}{1000}$, du poids normal, soit initial du corps.

Fèces. Voyons maintenant comment s'opère la perte de poids. Le corps ne perdant que par ses excrétions cutanée, pulmonaire et abdominale, si l'on s'appliquait à recueillir exactement tous les produits éliminés ainsi, l'on devrait retrouver la totalité du poids perdu par l'animal. C'est là ce que j'ai cherché à faire, non pas sans doute pour la totalité, mais pour une partie seulement de ces excrétions, savoir pour la défécation. Le tableau suivant présente rapprochées l'une de l'autre la perte de poids éprouvée pendant la totalité ou pendant une partie seulement de

l'inanitiation, et les fèces évacuées pendant le temps correspondant à cette perte[1]. Le poids des fèces est exprimé, soit à l'état humide, soit à l'état sec; dans le premier cas, c'est celui qu'elles avaient lorsqu'on les recueillait, c'est-à-dire à la fin de chaque jour expérimental, soit de 24 en 24 heures : dans l'autre, c'est le poids qu'elles présentaient après une dessiccation à l'air prolongée de plusieurs jours à plusieurs mois.

TABLEAU N° 13.		PERTE de POIDS totale.	FÈCES humides. POIDS.	FÈCES sèches. POIDS.	DURÉE de LA VIE.
		grammes	grammes	grammes	jours
Pigeons.	N° 30	114,80	—	13,53	5,37
	29 (Portion d'expérience.)	58,53	—	5,44	6,00
	25	176,84	69,54	23,93	10,00
	27	213,48	82,04	26,40	13,66
	MOYENNE	140,91	50,53	17,33	8,76
Tourterelles.	N° 19	54,91	—	7,58	4,92
	16	64,81	—	5,15	9,90
	10	81,91	—	6,48	9,92
	14	88,00	—	7,54	11,20
	15	90,52	—	8,87	11,54
	MOYENNE	76,03	—	7,12	9,50
MOYENNE GÉNÉRALE des neuf expériences.		104,87	.....	11,66	.....

[1] Ces expériences, qui constituent la totalité de celles que j'ai faites sur ce sujet, sont rela-

Ces expériences ont été faites sur deux espèces d'animaux, et les moyennes partielles qu'elles fournissent, sans être identiques (le mode de dessiccation employé ne le comportait pas), s'éloignent cependant peu l'une de l'autre, et nous permettent de conclure, comme résultat général, que, *pendant l'abstinence complète des aliments, à une perte de poids de 1000 grammes a correspondu une excrétion de 111g,1 de fèces ramenées à un état de dessiccation aussi complet que l'air seul puisse le communiquer.* Dans cet état les fèces ne représentent que les $\frac{50,33}{151,58}$, c'est-à-dire le tiers de leur poids à l'état humide; et sans doute moins encore, puisque ce poids humide n'a jamais été déterminé qu'après quelques heures d'exposition à l'air.

DES INFLUENCES QUI MODIFIENT LA PERTE INTÉGRALE PROPORTIONNELLE.

Nous avons fait observer un peu plus haut que, bien que la moyenne générale des expériences de notre tableau n° 7 donnât 0,400 pour la perte intégrale proportionnelle qui amène la cessation de la vie, cependant l'examen détaillé de ces expériences montrait qu'il existait des différences assez notables entre les résultats individuels de quelques-unes d'entre elles et la moyenne générale en question. En parcourant ces expériences, l'on trouve que les limites extrêmes entre lesquelles tous les résultats individuels ont oscillé ont été :

Tourterelle quatrième.	0,225
Poule première.....	0,529

ce qui donne une latitude de 0,304, c'est-à-dire de 0,3 de poids initial du corps, et c'est sur cette différence que doivent

tives, les unes à quelques-uns des animaux du tableau n° 7, les autres à une série d'expériences dont il sera question plus tard, et dans laquelle les animaux ont été soumis à l'abstinence complète des aliments et à l'ingestion journalière d'une quantité d'eau déterminée.

se prendre toutes les influences perturbatrices qui peuvent venir modifier la loi de la perte proportionnelle. Ces influences, qu'il nous reste maintenant à analyser, se réduisent essentiellement à deux, savoir : l'*obésité* et l'*âge des animaux;* nous allons nous occuper successivement de chacune d'elles.

A. DE L'OBÉSITÉ[1].

Il est bien reconnu que, chez les sujets morts d'inanition, la graisse a presque complétement disparu. Cette substance éprouve donc une perte relative beaucoup plus forte que celle qui est subie par le reste du corps. Aussi, en comparant les animaux très-gras à ceux qui ne le sont point, observe-t-on que la perte additionnelle due à la disparition plus ou moins complète de la graisse finit par devenir une quantité appréciable, et par influer sur la valeur de la perte intégrale proportionnelle. C'est là ce que nous chercherons à rendre sensible de la manière suivante :

Nous verrons par le tableau n° 41, savoir :

1. Que les pigeons troisième et cinquième, pesant ensemble $840^{g},39$, et morts par asphyxie dans un état normal de nutrition, contenaient collectivement $77^{g},28$ de graisse, c'est-à-dire les 0,092 du poids de leur corps;

2. Que par l'inanition la graisse du corps se réduit environ aux $\frac{5,20}{77,28} = 0,067$ de son poids primitif.

Il résulte de ces données-là :

a. Que, par l'inanitiation, la graisse de ces deux animaux serait devenue les $0,092 \times 067$ du poids normal du corps; et par conséquent que la différence additionnelle qui en serait résultée dans la perte intégrale proportionnelle aurait été $= 0,092 (\{1,000 - 0,400\} - 0,067) = 0,049$. Ajoutant donc ce nombre à celui

[1] Je suis obligé, pour traiter ce sujet en cet endroit, d'empiéter sur ce que j'aurai à dire plus tard, et de me référer à des résultats qui ne seront présentés qu'à l'occasion des autopsies.

de la moyenne générale de la perte intégrale proportionnelle, nous aurions, pour la valeur moyenne et particulière de cette perte chez ces deux animaux, 0,449.

b. Or, en prenant la moyenne des résultats fournis par les pigeons inanitiés quatrième et sixième (tableau n° 7), pigeons aussi semblables que possible aux deux premiers (3e et 5e), et choisis, avant toute expérience, dans le but spécial de leur être comparés de point en point, nous trouvons que la moyenne de la perte intégrale proportionnelle de ces deux animaux = 0,493. Ce résultat est assez rapproché de celui que fournit le calcul précédent pour pouvoir en être considéré comme la vérification.

L'on voit donc que l'obésité modifie jusqu'à un certain point la valeur de la perte intégrale proportionnelle; et, puisque la présence d'une quantité pas très-considérable de graisse ($\frac{1}{11}$ environ du poids du corps) pourrait faire varier la valeur de la perte proportionnelle de 0,05, l'on peut admettre comme limite que cette influence s'étende jusqu'à 0,1. Ainsi la perte proportionnelle, qui en moyenne = 0,400, peut, chez les animaux très-gras, s'élever jusqu'à 0,500.

C'est à cette circonstance que j'attribue la valeur élevée de la perte proportionnelle chez les quatre animaux de notre septième tableau, chez qui seuls cette perte a atteint 0,500, savoir : les deux poules, qui étaient au début de l'expérience dans un grand état d'embonpoint; et les pigeons 6e et 31e, qui, pendant une alimentation surabondante, continuée pour l'un pendant 16, et pour l'autre pendant 30 jours, avaient augmenté de poids, le premier dans le rapport de 4, 5; le second dans celui de 4 : 6.

B. DE L'ÂGE DES ANIMAUX.

C'est un fait connu de toute antiquité[1] que l'âge apporte d'assez grandes modifications dans la faculté de supporter l'absti-

[1] Hippocrate, *Aphor.* I, 13.

nence. Voyons donc si les expériences précédentes nous fournissent quelques résultats à cet égard.

Il eût été à désirer que j'eusse pu connaître avec exactitude l'âge des animaux dont je me suis servi; mais il m'a été impossible d'y parvenir. Cependant les tourterelles ayant offert cela de particulier, qu'elles provenaient toutes de la même source et qu'elles avaient été nourries de la même manière, j'ai pu, à défaut de leur âge vrai, arriver à une expression de leur âge relatif, en les classant d'après leur poids initial [1]. Cette mesure est imparfaite, sans doute, mais elle suffit pour nous permettre d'arriver aux effets généraux qui résultent de l'influence de l'âge; et ce sont les effets de cette espèce que nous avons presque uniquement en vue ici. Quant aux autres animaux, comme ils ne présentaient pas l'uniformité d'origine des tourterelles, je ne m'en suis point occupé.

Dans notre tableau général d'inanitiation (n° 7), les tourterelles se trouvent rangées d'après leur poids initial. Quoiqu'on y voie la perte intégrale proportionnelle aller toujours en augmentant à mesure que les animaux se trouvent plus gros, cependant, afin de mettre l'influence de l'âge mieux en évidence, distribuons ces animaux dans les trois groupes suivants :

		grammes.
a. Tourterelles jeunes.....	celles au-dessous de	120
b. Tourterelles d'âge moyen...	*idem* de	120 à 160
c. Tourterelles adultes.....	*idem* au-dessus de	160

Prenons alors la somme, puis la moyenne des résultats expérimentaux de chaque groupe, et nous en formerons le tableau suivant :

[1] Si je voulais me servir d'une expression tirée d'une autre science, je dirais que le poids est une *fonction* de l'âge, mais une fonction qui ne peut se déterminer qu'expérimentalement.

TABLEAU N° 14.	POIDS DU CORPS.		PERTE DE POIDS.			DURÉE
	Poids initial.	Poids final.	Perte intégrale absolue.	Perte intégrale proportionnelle	Perte diurne proportionnelle	de la vie.
	gram.	gram.	gram.			jours.
a. Tourterelles jeunes.....	110,42	82,84	27,58	0,250	0,081	3,07
b. Tourterelles d'âge moyen...	143,62	91,60	52,02	0,362	0,059	6,12
c. Tourterelles adultes.....	189,36	101,61	87,75	0,463	0,035	13,36

Nous ferons sur ces résultats les observations suivantes :

1. *Poids du corps : a.* Initial. L'examen de ce tableau nous montre que, dans chacune de ses colonnes, les quantités de même nom se trouvent représenter assez exactement les premiers termes d'une progression géométrique, mais d'une progression dont le quotient varie d'une des colonnes à l'autre. Or, comme la colonne de poids initial est celle qui contient les données de la question relativement à l'âge de nos animaux, c'est au quotient de cette progression que nous devons comparer ceux des autres pour reconnaître les effets d'âge que nous nous occupons de rechercher.

Le quotient moyen de la progression de poids initial $= \frac{1}{2}\left(\frac{143,62}{110,42} + \frac{189,36}{143,62}\right) = \frac{1}{2}(1,30 + 1,32) = 1,31$. Voyons maintenant jusqu'à quel point les quotients des autres progressions sont semblables à celui-là.

b. Le poids final a pour sa progression un quotient moyen $= \frac{1}{2}(1,11 + 1,11) = 1,11$. Ce quotient, comme on voit, est sensiblement plus petit que celui de la progression de poids initial, ce qui rend les deux progressions nécessairement divergentes entre elles. Il en résulte que les termes correspondants de ces progressions sont d'autant plus différents l'un de l'autre que l'on s'éloigne davantage du premier de ces termes; et comme la progression de poids initial est l'expression de l'accroissement

d'âge des animaux, il suit de là que, plus les animaux sont âgés, et plus le poids final auquel ils succombent se trouve relativement diminué, *et vice versa*.

2. *Perte de poids. a.* La perte absolue a pour sa progression un quotient moyen $= \frac{1}{2}(1,88 + 1,68) = 1,78$. Ce quotient, à l'opposé du précédent, est plus grand que celui de la progression de poids initial, et les deux progressions deviennent encore divergentes entre elles. Il résulte de là, d'après le raisonnement ci-dessus, que, plus les animaux sont âgés, et plus la perte de poids au moment de la mort se trouve relativement élevée.

b. La perte intégrale proportionnelle a pour sa progression un quotient moyen $= \frac{1}{2}(1,45 + 1,28) = 1,36$. Ce quotient, étant un peu plus grand que celui de la progression de poids initial, montre, comme dans le cas précédent, que, plus les animaux sont âgés, et plus la perte intégrale proportionnelle se trouve relativement élevée.

c. La perte diurne proportionnelle a pour sa progression un quotient moyen $= \frac{1}{2}(0,73 + 0,59) = 0,66$. Ce quotient fractionnaire fait voir avec quelle rapidité la perte diurne diminue à mesure que les animaux deviennent plus âgés.

3. Pour apprécier la valeur de ces résultats, comparons ces différents quotients à celui de la progression de poids initial, soit de l'âge relatif des animaux. Nous obtiendrons les rapports suivants :

TABLEAU N° 15.		RAPPORT.
Poids final	$\frac{1,11}{1,31} =$	0,85
Perte intégrale absolue	$\frac{1,78}{1,31} =$	1,36
Perte intégrale proportionnelle	$\frac{1,36}{1,31} =$	1,04
Perte diurne proportionnelle	$\frac{0,66}{1,31} =$	0,50

c'est-à-dire que, lorsqu'on a déterminé pour l'un de ces âges, pour l'âge (*a*), par exemple, le poids initial, le poids final, la perte intégrale absolue et les pertes proportionnelles intégrale et diurne, l'on passera aux valeurs correspondantes à ces quantités-là pour l'âge (*b*), c'est-à-dire pour le poids initial suivant, au moyen d'une simple proportion, dont on multipliera le résultat, soit le dernier terme, par le nombre qui lui correspond dans le tableau ci-dessus, savoir : par 0,85 pour le poids final, par 1,36 pour la perte intégrale absolue, et ainsi de suite pour les deux autres quantités. De même aussi l'on passera de l'âge (*a*) à l'âge (*c*), en multipliant le résultat de la proportion par le nombre correspondant du tableau ci-dessus, élevé à la deuxième puissance, c'est-à-dire par $(0,85)^2$, par $(1,36)^2$, etc.

4. Quant à la valeur absolue de la modification que l'âge apporte à la perte intégrale proportionnelle, l'on voit, en partant de la valeur moyenne fournie pour cette perte par notre tableau n° 7, savoir : 0,397, que la perte intégrale proportionnelle la plus faible que nous ayons obtenue, celle de 0,225, nous a été fournie par l'une de nos trois tourterelles les plus jeunes, et s'écarte de la moyenne générale de 0,172.

Or, comme les animaux que j'ai examinés n'étaient pas des plus jeunes que j'eusse pu me procurer, l'on ne s'écartera pas beaucoup de la vérité en étendant jusqu'à 0,200 l'influence de l'âge pour diminuer la perte intégrale proportionnelle; de telle façon que la limite inférieure de cette perte serait, en nombre rond, et pour de jeunes animaux, de $0,400 - 0,200 = 0,200$.

5. La moyenne fournie par le tableau n° 7, pour la perte intégrale proportionnelle, étant déduite d'animaux de tout âge, et en particulier de quelques animaux très-jeunes, cette valeur aurait sans doute besoin d'une légère correction pour s'appliquer exclusivement à des animaux adultes. D'après l'examen du tableau précité, je pense que cette correction d'âge pourrait porter la moyenne en question à environ 0,450.

L'on voit donc, en résumant les influences qui peuvent modi-

fier la valeur de la perte intégrale proportionnelle, que l'obésité peut augmenter cette perte de 0,1, et la porter de 0,400 à 0,500, tandis que le jeune âge peut la diminuer de 0,200, et la porter de 0,400 à 0,200; en sorte que, en réunissant ces deux effets, l'on obtient, pour les oscillations de la perte intégrale proportionnelle, l'amplitude de 0,300 que nous avons signalée plus haut, c'est-à-dire une étendue équivalente aux trois dixièmes du poids normal du corps.

DE LA DURÉE DE LA VIE.

Chez les animaux privés de toute nourriture, l'inanitiation est loin d'avoir une durée uniforme. Les différences qui s'observent à cet égard tiennent à diverses circonstances que nous allons chercher à examiner, mais après avoir établi cependant quelle est la durée moyenne de la vie.

Prenons donc dans notre tableau n° 7 les résultats relatifs à ce dernier objet, et classons-les selon les espèces d'animaux auxquelles ils appartiennent; nous aurons :

TABLEAU 16.		DURÉE DE LA VIE.		
		SOMMES partielles.	SOMMES collectives.	MOYENNE.
		jours.	jours.	jours.
Oiseaux.	15 tourelles ayant vécu collectivement...	111,56		
	20 pigeons.....	222,26	374,33	9,85
	2 poules.....	36,86		
	1 corneille.....	3,65		
Mammifères.	5 cochons d'inde.....	32,76	89,89	9,99
	5 lapins.....	57,13		

Nous ferons sur ce tableau les observations suivantes.

a. Le résultat général de ces 48 expériences donne pour la durée moyenne de la vie dans l'inanitiation $\frac{374,33 + 89.89}{48} = 9^{\text{jours}}, 68$.

b. En moyenne, les oiseaux et les mammifères ont vécu à fort peu près le même espace de temps.

c. Enfin en recourant au tableau n° 7 lui-même, l'on voit que la durée maximum de la vie a été $20^{\text{jours}},42$ (31e pigeon) : la durée minimum de $2^{\text{jours}},01$ (4e tourterelle).

La durée de la vie des animaux soumis à l'inanitiation est essentiellement modifiée par les influences suivantes :

1. *L'âge des animaux*. Pour apprécier cette influence reprenons l'examen du tableau n° 14, où nous avons groupé nos tourterelles selon leur âge relatif, et nous verrons :

a. Que le quotient moyen de la progression de la durée de la vie $= \frac{1}{2}(1,99 + 2,18) = 2,08$. Ce quotient, le plus grand de ceux que nous ayons obtenus, montre que l'âge influe sur l'augmentation de la durée relative de la vie, plus que sur aucune des autres circonstances que nous ayons étudiées dans ce tableau; et en particulier plus que sur l'augmentation relative de la perte de poids à laquelle la mort survient.

b. Ce quotient, divisé par celui de la progression de poids initial, donne $\frac{2,08}{1,31} = 1, 59$; c'est-à-dire que, lorsqu'on a déterminé pour l'âge (*a*) le poids initial et la durée de l'inanitiation, l'on passera à la durée de l'inanitiation pour l'âge (*b*), soit pour le poids initial suivant, à l'aide d'une simple proportion dont on multipliera le résultat par 1, 59 ; l'on passera de l'âge (*a*) à l'âge (*c*), en multipliant le résultat de la proportion par $(1, 59)^2$; et de même de l'âge (*a*) à l'âge (*n*), en multipliant le résultat de la proportion par $(1, 59)^{n-1}$.

Il serait facile d'exprimer ces rapports par une formule qui les embrasserait dans leur généralité; mais je préfère ne point le faire, afin de ne pas paraître attacher aux expressions mathéma-

tiques plus d'importance que je ne suis disposé à leur en accorder ici. Et je désire même qu'il soit bien entendu que je ne considère les courtes formules que j'ai employées jusqu'à présent, que comme des phrases commodes, pour indiquer avec netteté les rapports que nous avons vus exister entre les différents faits que nous avons étudiés.

c. La moyenne générale de la durée de la vie obtenue ci-dessus, savoir $9^{jours},68$, ayant été déduite de la totalité de nos expériences, elle se rapporte à de jeunes animaux aussi bien qu'à des animaux adultes. Mais, d'après ce que nous venons d'établir maintenant, l'on voit qu'en se bornant à ces derniers, l'on aurait un résultat différent. Or, sans pouvoir fixer de nombre bien précis, cependant, d'après les résultats individuels du tableau n° 7, je crois que chez les animaux adultes, la durée de la vie doit être en moyenne de 15 à 18 jours.

2. *La perte intégrale proportionnelle.* En déterminant, pour les expériences de notre tableau n° 7, la durée moyenne de la vie qui correspond à des valeurs successivement croissantes de la perte proportionnelle ; ainsi à toutes les valeurs de la perte entre 0, 2 et 0, 3 ; entre 0, 3 et 0, 4 ; entre 0, 4 et 0, 5 ; et enfin entre 0, 5 et 0, 6: nous obtenons les résultats suivants :

TABLEAU N° 17.	DURÉE MOYENNE DE LA VIE.
	jours.
De 0,2 à 0,3	3,07
0,3 0,4	7,90
0,4 0,5	11,71[1]
0,5 0,6	18,52

D'où l'on voit :

a. Que, la perte proportionnelle se trouvant disposée en pro-

[1] Cette catégorie de 0,4 à 0,5 se compose de quinze animaux ; or, abstraction faite des pigeons 4 et 30, dont le premier au moins était encore fort jeune, la moyenne de la vie des treize animaux restants = 12 jours 66 : nombre qui rend la série des jours de vie une équidifférence à peu près parfaitement exacte.

gression par équidifférence, la durée de la vie représente assez sensiblement aussi une progression de même espèce;

b. Que ces progressions sont toutes deux croissantes;

c. Enfin que la *raison* de la progression de la durée de la vie est beaucoup plus grande que celle de la progression de la perte intégrale proportionnelle ; de façon qu'à 0, 1 de différence dans la valeur de celle-ci, correspond dans la première une différence moyenne de 4^{jours}, 82.

3. *La perte diurne proportionnelle*. L'influence de la perte diurne proportionnelle sur la durée de la vie est précisément l'inverse de la précédente; c'est-à-dire que, plus cette perte s'est trouvée forte, plus la vie a été courte, et plus la perte a été faible, plus la vie s'est prolongée. Pour n'en citer qu'un seul exemple, l'on trouve que dans les 48 expériences de notre tableau n° 7,

	PERTE DIURNE PROPORTIONNELLE.
La durée maximum de la vie a correspondu à.....	0, 025
La durée minimum de la vie, à.....	0, 112

c'est-à-dire que, dans le dernier cas, la perte diurne a été $4\frac{1}{2}$ fois plus forte que dans le premier. Il faut se rappeler toutefois qu'ici il ne s'agit plus seulement d'animaux de même âge, et que cette perte maximum a été observée chez l'une de nos plus jeunes tourterelles, tandis que la perte minimum l'a été sur un pigeon adulte.

La durée de la vie dans l'inanitiation est très-exactement représentée par la formule suivante :

$$\text{Durée de la vie} = \frac{\text{perte intégrale proportionnelle.}}{\text{perte diurne proportionnelle moyenne.}}$$

Pour l'âge adulte cette formule deviendra, en y substituant la valeur de la perte intégrale proportionnelle qui résulte du tableau n° 7, modifiée par nos remarques subséquentes (pag. 468) :

$$\text{Durée de la vie} = \frac{0.\ 450}{\text{perte diurne proportionnelle moyenne.}}$$

Il découle de là qu'il est jusqu'à un certain point possible, d'après la valeur de la perte proportionnelle diurne, de conclure la durée probable de la vie dans l'inanitiation. Ainsi, par exemple, que l'on donne pour un animal adulte son poids normal et sa perte de poids pendant l'un des jours de l'inanitiation, l'on en conclura sa perte proportionnelle diurne pour ce jour-là. Substituant ce résultat au dénominateur du second membre de la formule ci-dessus, l'on arrivera à la valeur cherchée de la durée probable de la vie; et cette approximation pourra être rendue plus exacte encore, d'après ce qui a été dit à l'occasion de la perte diurne, en connaissant si le jour indiqué appartient au commencement ou à une période plus avancée de l'inanitiation, c'est-à-dire à l'époque du maximum ou à celle du minimum de la perte.

Quant aux animaux plus jeunes et à ceux surchargés d'embonpoint, ce que nous avons dit dans les articles précédents suffira pour faire à la valeur de la perte intégrale proportionnelle les corrections nécessaires pour arriver à un degré semblable d'approximation.

L'on conçoit, d'après ce que nous venons de dire, de quelle importance il est, dans toute espèce d'inanitiation, de diminuer autant qu'on peut la perte diurne, pour que la durée de la vie puisse se rapprocher le plus possible du maximum.

DE LA DIMINUTION DE POIDS CHEZ LES ANIMAUX À SANG FROID.

Les résultats remarquables que nous avons obtenus sur les animaux à sang chaud, quant à la perte de poids qui occasionne la mort, m'ont engagé à rechercher comment se comportaient à cet égard les animaux vertébrés à sang froid, animaux qui, pour la nutrition, sont placés à une extrémité de l'échelle opposée à celle où se trouvent les animaux à sang chaud. Je me hâte de dire cependant que je n'ai fait qu'effleurer ce sujet vaste et curieux, qui à lui seul eût exigé des expériences très-multipliées, et prolongées pendant plusieurs années consécutives.

HUITIÈME EXPÉRIENCE.

Douze grenouilles ont été placées dans des baquets d'eau claire, renouvelée de temps en temps. Elles ont été soumises à la privation complète des aliments, et on les a pesées régulièrement tous les quinze jours. Elles ont présenté les résultats suivants[1] :

TABLEAU N° 18.

1re grenouille.....	morte d'inanition.....	au bout de	16 mois.
2e grenouille.....	*idem*.....	*idem*..	14 mois.
3e, 4e et 5e grenouilles	*idem*.....	*idem*..	10 mois.
6e et 7e grenouilles..	*idem*.....	*idem*..	9 mois.
8e grenouille.....	*idem*.....	*idem*..	6 mois.
9e, 10e, 11e et 12e grenouilles mortes d'inanition, mais après avoir mis bas leur frai.....		*idem*..	6 mois.

Avant de passer aux résultats de ces expériences, je ferai observer, qu'on ne doit faire les pesées qu'après avoir cherché à faire sortir de l'anus, par la compression du ventre, l'eau, souvent en assez grande quantité, que ces animaux avalent, qui séjourne dans leur intestin, et qui peut modifier leur poids réel d'une manière assez notable pour que, malgré la prolongation de l'abstinence, on les trouve quelquefois tout à coup plus pesants qu'ils ne l'étaient deux ou trois mois auparavant.

Une autre observation à faire, c'est que, vers les derniers jours de la vie, lorsque les forces sont épuisées, l'animal s'infiltre en absorbant l'eau dans laquelle il est plongé, et arrive à peser, au moment de la mort, quelquefois davantage que plusieurs semaines auparavant. Dans ce cas, je prends pour poids final celui de l'a-

[1] Quinze autres grenouilles soumises à la même expérience sont mortes, parce que l'eau n'avait pas été renouvelée assez souvent.

vant-dernier mois, parce qu'il présente le poids minimum auquel le corps soit descendu.

Passons maintenant aux résultats présentés par ces animaux [1] :

TABLEAU N° 19.	DURÉE de LA VIE.	POIDS DU CORPS.		PERTE INTÉGRALE proportionnelle.
		POIDS initial.	POIDS final.	
	mois.	grammes	grammes	
Grenouille n° 1.....	15	72,55	43,74	0,397
——— 2.....	14	77,13	41,02	0,468
——— 3.....	10	67,81	45,32	0,332
——— 4.....	10	61,65	34,67	0,438
——— 5.....	10	37,68	19,49	0,483
——— 6.....	9	34,72	15,70	0,548
——— 7..	9	45,72	18,91	0,586
——— 8.....	6	35,13	22,84	0,350
——— 9.....	6	44,71	28,85	0,355
——— 10.....	6	38,76	25,61	0,339
——— 11.....	6	37,48	25,08	0,331
——— 12.....	6	37,10	24,47	0,340
SOMME.....	107	590,44	345,70	4,967
MOYENNE.....	9	49,20	28,81	0,414

Je ferai sur ce tableau les observations suivantes :

1. Il offre ceci de très-remarquable, c'est que, sauf la pre-

[1] Pour éviter la trop grande multiplication des tableaux, je ne donnerai point celui des pesées de quinze en quinze jours.

Dans le tableau ci-après, les nombres de la colonne de la durée de la vie ne sont que le temps écoulé entre les pesées initiale et finale, ces nombres ayant été modifiés en conformité de la seconde des remarques précédentes. La durée exacte de la vie est indiquée plus haut.

mière colonne, l'on croirait qu'il appartient à des animaux à sang chaud; au point que, dans la moyenne, en déplaçant la virgule, l'on obtient, à très-peu près, les nombres relatifs au 27ᵉ pigeon (tabl. n° 7). Si nous nous rappelons que, chez les animaux à sang chaud, la moyenne générale de la perte proportionnelle = 0,397, nous verrons que, chez les grenouilles inanitiées, cette perte se trouve très-sensiblement la même; les moyennes de classe à classe différant moins entre elles que les individus d'une même espèce.

2. La différence entre ces deux classes d'animaux consiste essentiellement dans le temps nécessaire pour arriver à la limite. Chez nos animaux à sang chaud, nous avons vu que la durée moyenne de l'inanitiation était de 9 jours 68 et que la moyenne de la perte diurne proportionnelle était = 0,042. En calculant les mêmes éléments pour nos grenouilles, nous trouverons que la durée moyenne de la vie a été de 9 mois, et la moyenne de la perte diurne proportionnelle a été = 0,0015; c'est-à-dire que chez elles la durée de la vie a été trente fois plus longue, en même temps que la perte diurne s'est réduite à $\frac{1}{30}$ environ; au moyen de quoi l'égalité s'est trouvée maintenue.

3. Il est à remarquer que les grenouilles qui sont mortes peu après avoir déposé leur frai ont, en général, présenté une perte proportionnelle un peu moins forte que les autres. Le rapport a été à peu près celui de 0,33 à 0,44.

4. Enfin, pendant les trois mois d'hiver, les unes et les autres ont fort peu perdu. La perte principale est tombée sur les mois d'été.

NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

Trois grenouilles reinettes ont été placées dans un vase que l'on tenait toujours suffisamment humecté d'eau et dont on renouvelait l'air chaque jour. Depuis le début de l'expérience elles ont été soigneusement privées de toute espèce d'aliment. Elles ont offert les résultats suivants :

TABLEAU N° 20.	POIDS DU CORPS.			
	POIDS initial.	POIDS au 15e jour.	POIDS au 60e jour.	POIDS final [1].
		grammes	grammes	grammes
Grenouille reinette n° 1.....	Non déterminé..	7,19	—	4,53
——— 2.....	Non déterminé..	—	7,32	3,97
——— 3.....	Non déterminé..	—	3,24	2,33

[1] Le poids final a été déterminé, pour la première reinette le 195e jour; pour la deuxième le 256e jour; pour la troisième le 105e jour.
La mort réelle a eu lieu, pour la première le 209e jour; pour la seconde le 256e; pour la troisième le 115e jour.

Quoique le poids initial de ces animaux n'ait pas pu être déterminé (je voyageais alors dans le canton du Tessin et dans le nord de l'Italie), l'on peut cependant y arriver d'une manière approximative en supposant que, pour la partie de l'expérience antérieure à la première pesée, le corps a perdu dans la même proportion que depuis la première jusqu'à la dernière pesée. L'on obtient ainsi :

TABLEAU N° 20 (*bis*).	POIDS DU CORPS.		PERTE PROPORTIONNELLE.	
	POIDS initial.	POIDS final.	PERTE diurne.	PERTE intégrale.
	grammes	grammes		
Grenouille reinette n° 1.....	7,39	4,53	0,0020	0,387
——— 2.....	8,34	3,97	0,0020	0,524
——— 3.....	4,47	2,33	0,0046	0,478
Moyenne.....	.....	.....	0,0029	0,463

Ces deux pertes proportionnelles, comme on voit, sont tout à fait semblables à celles des grenouilles de l'expérience 8; en sorte que les résultats fournis par les reinettes rentrent aussi dans ceux que nous ont donnés les animaux à sang chaud; à la durée de l'inanitiation près cependant, qui, en moyenne, a été ici de $6\frac{1}{3}$ de mois pour chaque animal.

DIXIÈME EXPÉRIENCE.

Une tortue terrestre a été soumise à la privation complète des aliments proprement dits. On lui fournissait de l'eau après chaque prise de poids du corps, savoir une fois tous les quinze jours, sauf cependant après la pesée du 32ᵉ jour, où il ne lui en a point été donné. J'ai obtenu ainsi les résultats suivants :

TABLEAU N° 21.		POIDS du CORPS.	EAU BUE [1].
		grammes	grammes
Tortue.	État initial.....	365,45	20,53
	16ᵉ jour.....	352,17	20,20
	28ᵉ jour.....	344,15	19,55
	32ᵉ jour.....	350,56	—
	40ᵉ jour : mort.....	315,98	—

[1] Ces quantités d'eau n'étaient bues qu'après les prises de poids correspondantes.

Pour établir la perte proportionnelle chez cet animal, il faut faire abstraction de ses énormes écailles, qui, ne participant plus au mouvement nutritif, doivent être considérées comme étrangères en quelque sorte à l'animal. Ces deux écailles, séparées avec soin des chairs subjacentes, ont pesé collectivement 158ᵍ,18. L'on obtient alors pour la perte intégrale proportionnelle 0,239, et pour la perte proportionnelle diurne 0,0060.

Ces nombres, comme on voit, rentrent aussi dans ceux que nous ont fournis les animaux à sang chaud, au moins quant à ce qui regarde la perte totale; cependant la brièveté de l'inanitiation pour un animal à sang froid (40 jours) me fait présumer que cette tortue jeûnait déjà depuis plus ou moins longtemps, quand on me l'a procurée. Je n'affirme pourtant rien à cet égard. La perte proportionnelle diurne est deux ou trois fois plus forte que chez nos autres animaux à sang froid, mais dix fois plus faible que chez les animaux à sang chaud.

J'ajouterai, avant de finir, que l'animal buvait très-lentement; il est resté, la première fois, 7 minutes, la seconde fois, 21 minutes, et la troisième fois, une heure, pour boire les quantités d'eau indiquées ci-dessus.

ONZIÈME EXPÉRIENCE.

Trois anguilles ont été placées dans un baquet avec de l'eau qu'on renouvelait de temps en temps. On les a soumises à la privation complète des aliments, et, au bout de cinq mois, deux d'entre elles (la 1re et la 2e) ont été trouvées mortes, et la 3e mourante; ce qui a probablement dépendu de ce que, sur la fin de l'expérience, l'eau n'avait pas été renouvelée assez souvent, car la dernière anguille se ranima très-bien dans de la nouvelle eau [1]. Elles ont fourni les résultats suivants :

[1] Partant de Naples ce jour-là, je n'ai pas pu achever l'expérience de la troisième anguille, que j'y laissai vivante.

TABLEAU N° 22.		1re ANGUILLE.	2e ANGUILLE.	3e ANGUILLE.
		grammes	grammes	grammes
Anguilles.	État initial	69,93	51,35	64,49
	30 jours	63,32	40,92	52,64
	61 jours	59,96	37,30	48,43
	92 jours	56,07	33,35	44,61
	120 jours	52,88	30,30	41,96
	151 jours	52,67	30,01	40,40
	Perte intégrale absolue	17,26	21,33	24,09
	Perte intégrale proportionnelle	0,247	0,415	0,374

Peut-être y a-t-il eu pour les anguilles 1re et 2e quelque absorption d'eau entre le moment de la mort et celui de la pesée; mais ce ne peut être qu'une quantité fort peu considérable. Quoiqu'il faille ne considérer ces expériences-ci que comme des aperçus et des essais inachevés, elles nous donnent cependant sur la perte intégrale proportionnelle des résultats qui rentrent dans ceux des animaux à sang chaud, et qui sont en quelque sorte identiques avec ceux des grenouilles.

Mais le résultat exact qu'elles nous donnent, c'est la perte diurne proportionnelle qui se trouve être pour chacun de ces trois animaux, savoir :

TABLEAU N° 23.	PERTE DIURNE proportionnelle.
1re anguille	0,0016
2e anguille	0,0027
3e anguille	0,0025
Moyenne	0,0023

Ces valeurs nous montrent avec quelle lenteur s'abaisse chez elles le poids du corps.

DOUZIÈME EXPÉRIENCE.

Un viperajo de Naples m'a procuré trois couleuvres qui avaient probablement passé déjà plusieurs mois à ne prendre que de l'eau (c'est ainsi que ces gens les conservent); car, à l'époque où il me les a remises (6 janvier 1827) il ne pouvait guère les avoir capturées récemment.

Je les plaçai dans un vase, je les privai de tout aliment, et je ne leur donnai que de l'eau de temps en temps. J'ai obtenu les résultats suivants :

TABLEAU N° 24.	POIDS DU CORPS.	
	POIDS INITIAL.	POIDS FINAL.
	grammes	grammes
Couleuvre n° 1.....	127,49	124,00
——— 2.....	103,15	91,85
——— 3.....	88,77	79,84

La première couleuvre a bu 31 gram. 53 d'eau, et est morte le 78e jour; la seconde couleuvre a bu 9 gram. 78 d'eau, et est morte le 62e jour; la troisième couleuvre n'a pas bu du tout, et est morte le 28e jour. Il n'y a pas eu de boisson pendant les six ou sept derniers jours de la vie. Du reste, comme la tortue, ces animaux boivent avec une extrême lenteur. Ils ont fourni les résultats suivants :

TABLEAU N° 25.	PERTE DIURNE proportionnelle.
Couleuvre n° 1	0 ,0004
——— 2	0 ,0018
——— 3	0 ,0036
MOYENNE	0 ,0019

Ces résultats sont fort en rapport avec ceux que nous ont fournis les autres animaux à sang froid, les anguilles en particulier; Seulement il paraît que la perte diurne a été en raison inverse des boissons. Quant à la perte intégrale proportionnelle, je ne l'établis point, à cause de l'incertitude du poids initial ou plutôt normal du corps.

TREIZIÈME EXPÉRIENCE.

Six lézards ordinaires ont été soumis à la privation complète des aliments, mais on leur a fourni de l'eau. Ils ont présenté les résultats suivants :

TABLEAU N° 26.	POIDS DU CORPS.		PERTE PROPORTIONNELLE.		DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.
	POIDS initial.	POIDS FINAL.	Perte intégrale proportionnelle.	Perte diurne proportionnelle.	
	grammes	grammes			
Lézard n° 1	7 ,38	4 ,47	0 ,395	0 ,0026	Mort le 150e jour
——— 2	3 ,04	2 ,17	0 ,287	0 ,0031	Mort le 90e
——— 3	1 ,94	1 ,47	—	0 ,0027	Cessé l'expérience le 90e
——— 4	10 ,88	9 ,97	—	0 ,0017	Cessé l'expérience le 48e
——— 5	12 ,43	6 ,93	—	0 ,0034	Cessé l'expérience le 130e
——— 6	13 ,21	9 ,26	—	0 ,0022	Cessé l'expérience le 139e

Les deux premiers lézards, les seuls chez lesquels l'expérience ait été poussée jusqu'à l'inanition, ont fourni une perte intégrale proportionnelle conforme à tout ce que nous ont donné jusqu'à présent les animaux à sang froid et à sang chaud; et tous les six nous ont donné une perte diurne proportionnelle analogue à celle des autres animaux à sang froid.

Récapitulons maintenant les résultats que nous avons obtenus sur les animaux à sang froid : nous en formerons le tableau suivant.

TABLEAU N° 27.	MOYENNES INDIVIDUELLES.	DURÉE de LA VIE.	PERTE PROPORTIONNELLE.	
			Perte proportionnelle diurne.	Perte proportionnelle intégrale.
12 grenouilles à....	Durée de la vie..... 270 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0015 Perte intégrale proportionnelle.. 0 ,414	3,240 jours.	0 ,0180	4 ,968
3 reinettes à.....	Durée de la vie..... 185 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0029 Perte intégrale proportionnelle.. 0 ,463	555	0 ,0087	1 ,389
1 tortue à.....	.....	40	0 ,0060	0 ,239
2 lézards à.....	Durée de la vie..... 120 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0029 Perte intégrale proportionnelle.. 0 ,341	240	0 ,0058	0 ,682
4 lézards à.....	Durée de l'expérience..... 102 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0025	408	0 ,0100	—
3 couleuvres à.....	Durée de la vie..... 56 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0019	168	0 ,0057	—
3 anguilles à.....	Durée de l'expérience..... 151 jours. Perte diurne proportionnelle.... 0 ,0023	453	0 ,0069	—
28 anim. à sang froid	.....	5,104	0 ,0611	7 ,278
	MOYENNE GÉNÉRALE.....	182	0 ,0022	0 ,404

Nous conclurons de là :

1. Que, sur une durée moyenne d'expérience de 182 jours, soit six mois, le corps par l'inanitiation a baissé chaque jour de $\frac{1}{500}$ environ de son poids.

2. Pour voir la différence qui existe à cet egard entre un ani-

mal à sang chaud et un animal à sang froid, rapprochons de la moyenne de ce tableau (en ne la déduisant cependant que des 18 premiers animaux, les seuls pour lesquels la perte intégrale proportionnelle ait été déterminée) celle que nous a fournie la totalité de nos animaux à sang chaud et nous aurons :

TABLEAU N° 28.	DURÉE de LA VIE.	PERTE PROPORTIONNELLE.	
		Perte diurne proportionnelle.	Perte intégrale proportionnelle.
	jours cent.		
Animaux à sang chaud.....	9 68	0,0420	0,397
Animaux à sang froid	226 00	0,0021	0,404

L'on voit par là que, dans ces deux classes d'animaux, la durée de la vie est dans le rapport de 1 : 23; tandis que la perte diurne est dans celui de 20 : 1 : d'où résulte l'égalité de la perte intégrale proportionnelle, comme on l'observe dans le présent tableau. En sorte qu'un animal à sang froid meurt au même degré d'inanition qu'un animal à sang chaud; mais comme son mouvement nutritif est beaucoup plus lent que celui de ce dernier, il emploie pour perdre ce que celui-ci perd un temps 23 fois plus long.

3. La moyenne générale de la perte intégrale proportionnelle de nos 66 animaux, tant à sang chaud qu'à sang froid,

$$= \frac{19,056 + 7,278}{48 + 18} = 0,399.$$

4. Les résultats précédents, quoique trop peu nombreux pour établir d'une manière complète le mode d'inanitiation des animaux à sang froid, confirment cependant d'une manière si remarquable ceux que nous avons obtenus sur les animaux à sang chaud, qu'on peut regarder ces derniers comme suffisamment

approchés, et comme ne devant recevoir que peu de modifications par les recherches qui pourront être faites à l'avenir.

II. DE L'ALIMENTATION INSUFFISANTE.

Après avoir étudié les phénomènes les plus immédiats de la cessation de l'alimentation, quitte à revenir plus tard sur ceux que notre plan nous oblige à passer maintenant sous silence (autopsies et caloricité), examinons actuellement les effets d'une simple variation, soit dans la quantité, soit dans la nature de l'aliment. Ces effets, que je réunirai sous le titre d'*alimentation insuffisante*, sont de la plus haute importance à étudier, non-seulement à cause des conséquences physiologiques qu'on en peut déduire, mais encore par leur application toute particulière à la pathologie; car, tout bien analysé, je ne crains point de dire que, dans une foule de cas, peut-être le tiers, peut-être le quart, peu importe ici la proportion exacte, la terminaison d'une maladie n'est autre chose que la solution d'un problème d'alimentation.

§ I^er^. DE L'ALIMENTATION INSUFFISANTE QUANT À LA QUANTITÉ DE L'ALIMENT.

a. Alimentation uniforme chaque jour.

QUATORZIÈME EXPÉRIENCE.

Les expériences dont nous allons rendre compte ont été faites sur des tourterelles, et l'on y a procédé de la manière suivante :

1. Les animaux étaient nourris de blé choisi et pesé dans son état ordinaire de dessiccation. Ils avaient de l'eau à volonté. 2. Chez les uns (tourt. 1, 2), un même poids de blé était fourni chaque jour à la même heure, et on le laissait manger à l'animal à loisir; chez d'autres (tourt. 11, 25, 26, 27), un même poids de blé était chaque jour fourni à la même heure, et on le leur ingérait immédiatement dans le jabot; chez les derniers enfin

(tourt. 9, 12), que nous rangeons ici également pour ne pas multiplier les subdivisions, l'animal a mangé des quantités d'aliment plus ou moins inégales d'un jour à l'autre, mais dont on a déduit une alimentation journalière moyenne. 3. Toutes ces expériences ont été continuées jusqu'à la mort réelle (tourt. 25, 26, 27), ou jusqu'à l'état que nous avons appelé du nom de mort imminente (tourt. 1, 2, 9, 11, 12). 4. Les animaux étaient pesés au début de l'expérience, et repesés à la fin, au moment de la mort réelle ou à celui de la mort imminente.

La petite quantité d'aliments fournie à ces animaux n'a pas toujours été gardée et digérée. Dans six de ces expériences, c'est-à-dire dans les trois quarts des cas (tourt. 25, 26, 27, 9, 11, 12) les choses se sont passées comme suit : l'animal s'affaiblissant par le trop peu de l'aliment, la puissance digestive diminuait en proportion; l'aliment n'était plus digéré en totalité; il s'entassait petit à petit dans le jabot, et il en résultait : ou bien des vomissements, au moyen desquels l'animal se débarrassait du trop plein de son jabot (tourt. 25, 27, 9 et 12); ou bien de la diarrhée (tourt. 8, 9); ou bien enfin, lors de l'autopsie, la présence dans le jabot et l'estomac de quantités plus ou moins grandes de blé non digéré [1]. Ces quantités pesées, soit à l'état humide, soit après une dessiccation prolongée à l'air, se sont trouvées :

TABLEAU N° 29.	BLÉ DU JABOT ET DE L'ESTOMAC.	
	Blé humide.	Blé desséché.
	grammes	grammes
Touterelle n° 25.....	12,82 soit	= 8,55
——— 26.....	10,04	5,83
——— 27.....	12,76	8,42
——— 9.....	14,43	8,74
——— 12.....	12,56	6,22

[1] Dans la détermination du poids final du corps, on a toujours fait la déduction préalable

Par quel mécanisme dans ces expériences la digestion a-t-elle été tellement diminuée? Est-ce d'une manière seulement accidentelle? ou n'est-ce pas plutôt par quelque cause déterminée, comme une production surabondante d'acide, résultant de l'affaiblissement progressif des forces digestives? C'est ce que je ne chercherai point à décider, ne m'étant pas spécialement occupé de cette question. Quoi qu'il en soit, voici le résumé des résultats numériques que ces expériences nous ont fournis :

TABLEAU N° 30.	ALIMENTATION QUOTIDIENNE.		POIDS DU CORPS.		PERTE INTÉGRALE proportionnelle.	DURÉE de LA VIE.
	Blé.	Eau.	Poids initial.	Poids final.		
	grammes	grammes	grammes	grammes		jours
Tourterelle n° 1..	3,82	Non pesée.	114,28	83,46	0,270	5,08
——— 11..	8,42	15,41	136,75	108,00	0,210	6,11
——— 9..	6,93	7,90	141,35	89,61	0,366	16,23
——— 2..	4,73	6,41	142,52	92,66	0,350	6,00
——— 26..	7,77	13,47	148,86	90,59	0,391	17,25
——— 25..	6,67	9,13	149,12	82,49	0,447	16,00
——— 12..	2,78	10,88	151,00	96,15	0,363	5,00
——— 27..	6,35	11,46	152,68	102,50	0,329	8,94
Somme.....	47,47	74,66	1,136,56	745,46	.....	80,61
Moyenne....	5,93	10,66	142,07	93,18	.....	10,08

Je ferai sur ce tableau les observations suivantes :

1. En rapprochant ces résultats de ceux du tableau n° 1, relatif à l'alimentation normale des tourterelles, l'on voit :

de tout le blé non digéré retrouvé, à l'autopsie, dans le jabot et l'estomac. Le blé revomi était déduit de celui de l'alimentation quotidienne.

a. Que le poids moyen des animaux de ces deux tableaux se trouve à très-peu près le même; ainsi, quant à l'alimentation, ces animaux sont très-exactement comparables les uns aux autres;

b. Que le blé consommé journellement dans les deux cas a été, dans l'alimentation normale, $= 14^{g},24$; dans l'alimentation insuffisante, $= 5^{g},93$, c'est-à-dire un peu plus du tiers de la quantité précédente;

c. Que l'eau consommée, et dans l'un et l'autre cas elle était fournie à volonté, a été chaque jour, dans l'alimentation normale, $= 18^{g},28$; et dans l'alimentation insuffisante, $= 10^{g},66$, c'est-à-dire que sa consommation a diminué à peu près comme celle de l'aliment solide, mais dans une proportion un peu moindre cependant.

Ainsi, en résumé, l'on peut dire que l'alimentation moyenne de l'expérience actuelle (n° 14) n'était guère que le tiers de l'alimentation normale.

2. La moyenne de la perte intégrale proportionnelle de ces 8 animaux..... $= \frac{1136,56 - 745,46}{1136,56} = 0,344$.

3. Pour juger des résultats qui nous occupent, il faut les rapprocher de ceux que nous ont fournis les expériences d'abstinence; mais en ne comparant que des animaux de poids initiaux semblables, puisque ce poids initial a de l'influence, tant sur la perte intégrale proportionnelle que sur la durée de la vie, comme nous l'avons vu précédemment. A cet effet, rapprochons donc les résultats moyens du tableau ci-dessus (n° 30) de ceux que fournissent les huit tourterelles de notre tableau n° 7, comprises entre la 2^{e} et la 11^{e}; tourterelles dont les poids initiaux sont renfermés dans les mêmes limites que celles du tableau ci-dessus; nous aurons :

TABLEAU N° 31.	DURÉE de LA VIE.	POIDS DU CORPS.		PERTE INTÉGRALE proportionnelle.
		Poids initial.	Poids final.	
	jours	grammes	grammes	
Abstinence. Tourterelles 4, 6, 24, 5, 7, 17, 19, 18.....	5,33	138,49	90,71	0,341
Alimentation insuffisante. Tourterelles 1, 11, 9, 2, 26, 25, 12, 27.	10,08	142,07	94,75	0,344

Je ferai remarquer, à l'égard de ce dernier tableau :

a. Que le résultat le plus saillant qu'il présente, c'est l'identité presque absolue de la perte intégrale proportionnelle dans les deux séries, identité telle, qu'il est impossible de distinguer le cas d'abstinence complète de celui d'alimentation insuffisante. C'est un résultat d'une haute importance, et qui mérite de fixer toute notre attention.

b. Malgré cette identité de perte proportionnelle, la durée moyenne de la vie, dans le cas d'alimentation insuffisante, a été le double de ce qu'elle était dans l'abstinence complète.

Ainsi donc, en nourrissant un animal d'une manière insuffisante, au lieu de le priver totalement d'aliments, vous retardez bien plus ou moins l'époque de la mort, mais vous n'altérez en rien la loi d'après laquelle la mort arrive. Dans l'un et l'autre cas, l'animal meurt dès que son poids a atteint la limite de diminution compatible avec la vie.

Ce résultat se modifie probablement un peu, lorsque le déficit dans l'alimentation journalière n'est que très-peu considérable. L'abaissement étant plus ménagé, le corps, vraisemblablement alors, peut supporter une perte de poids plus grande que celle à laquelle un déficit plus fort lui aurait permis d'arriver.

Dans l'une des expériences ci-dessus (du reste, la seule de ce Mémoire où il ait été fait quelque chose d'étranger au but spécial

que je me proposais d'atteindre), l'animal (tourt. 12), pendant la durée de l'alimentation insuffisante, avait été soumis à l'ingestion de 1g,3 d'opium brut, dont la plus grande partie, il est vrai, avait été rejetée par le vomissement ou par les selles, pendant les vingt-quatre premières heures de cette ingestion. Et, quoique l'animal eût été mis assez profondément sous l'influence de l'opium pour qu'on pût la reconnaître encore deux ou trois jours après, cependant il est très-remarquable que la perte intégrale proportionnelle n'ait pas été sensiblement modifiée chez lui. Peut-être la digestion l'a-t-elle été davantage, car une partie du blé dont on le nourrissait a été, soit revomi, soit retrouvé dans l'estomac et le jabot après la mort.

b. Alimentation décroissante.

Je range sous ce titre quelques expériences dans lesquelles l'aliment a été fourni en quantité successivement de moins en moins considérable. Ainsi, par exemple, après avoir déterminé la quantité d'aliments nécessaire à un animal, pendant quelques jours on ne lui en fournissait plus que la moitié; puis pendant un même nombre de jours le quart, puis le huitième : établissant ainsi des espèces de périodes alimentaires dans chacune desquelles l'aliment décroissait régulièrement. Au bout de chacune de ces périodes, l'on déterminait le poids du corps, et quelquefois aussi celui des fèces.

Commençons par l'expérience suivante, qui s'écarte un peu de celle dont je viens de tracer le tableau, et qui participe également de l'alimentation insuffisante et de l'abstinence des aliments.

QUINZIÈME EXPÉRIENCE.

Le pigeon n° 28, du poids de 415g,63, et dont l'alimentation normale et quotidienne était, en moyenne, de 35g,16 de blé, et de 37g,23 d'eau (tableau n° 1), a été soumis pendant dix jours à une alimentation, dont la valeur quotidienne et moyenne était

de blé 13ᵍ,86 et d'eau 19ᵍ,35. Après ces dix jours, il a été privé de tout aliment proprement dit jusqu'à la mort, qui est arrivée le 19ᵉ jour, à dater du début de l'alimentation insuffisante. Pendant toute l'expérience, il a eu de l'eau à volonté. Il a fourni les résultats suivants :

TABLEAU N° 32.	ALIMENTATION QUOTIDIENNE.		POIDS du CORPS.
	Blé.	Eau.	
	grammes	grammes	grammes
Alimentation normale.....	35,16	37,23	415,63
Alimentation insuffisante. 1ᵉʳ jour.....			
Fin du 5ᵉ jour.....	13,86	19,55	385,85
Fin du 10ᵉ jour.....	.....	.....	378,20
Abstinence complète. 11ᵉ jour.....			
Fin du 15ᵉ jour.....	0,00	6,86	325,89
Mort le 19ᵉ jour.....	.....	.....	233,55

Je ferai sur cette expérience les observations suivantes :

1. L'on remarque, au bout des cinq premiers jours de l'alimentation insuffisante, une forte diminution du poids du corps (=29ᵍ,78) en rapport avec la réduction opérée dans la quantité de l'aliment. Dans les cinq jours suivants du même régime, la diminution du poids continue (=7ᵍ,65), mais moins rapidement, parce que le corps s'était déjà mis en rapport avec le poids de l'aliment journalier.

Pendant la période d'abstinence, nouvel abaissement très-rapide (=52ᵍ,31) les cinq premiers jours du nouveau régime; mais abaissement beaucoup plus rapide les quatre jours suivants (=92ᵍ,35) où le corps s'approchait de sa dissolution.

Ainsi l'on voit combien le poids de l'aliment gouverne celui du corps.

2. Les boissons, dont l'animal avait à volonté, offrent une

diminution correspondante, mais moins rapide cependant que celle des aliments.

3. Enfin la perte intégrale proportionnelle = 0,438, c'est-à-dire qu'elle est tout à fait en rapport avec celle que présentent les animaux soumis à l'abstinence complète des aliments.

SEIZIÈME EXPÉRIENCE.

Deux tourterelles (nos 21 et 22) ont été soumises à une alimentation décroissante, dont la période alimentaire était de cinq jours; en même temps que l'aliment diminuait d'une période à la suivante, dans la progression régulière de $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8}$. De l'eau a été fournie à volonté. Les fèces de chaque période ont été recueillies avec beaucoup de soin, ont été complétement séchées à l'air libre pendant plusieurs mois, et ont été pesées par une journée chaude du mois d'août. Les résultats fournis par ces deux animaux sont présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU N° 33.

	FIN de chaque PÉRIODE. — Poids du corps	PENDANT CHAQUE PÉRIODE ALIMENTAIRE. — ALIMENTATION JOURNALIÈRE MOYENNE. Blé.	Eau à volonté.	FÈCES DESSÉCHÉES. — Moyenne diurne
	grammes	grammes	grammes	grammes
Tourterelle n° 21. Etat normal	150 ,15	16 ,57	18 ,97	4 ,092
1re période alimentaire : 1er, 2e, 3e, 4e et 5e jours	127 ,88	8 ,29	9 ,19	2 ,531
2e période alimentaire : 6e, 7e, 8e, 9e et 10e jours	111 ,69	4 ,14	3 ,30	1 ,334
3e période alimentaire : 11e, 12e, 13e, 14e et 15e jours	86 ,70	2 ,07	2 ,40	1 ,127
Mort à la fin du 15e jour	"	"	"	"
Tourterelle n° 22. État normal	136 ,88	17 ,03	23 ,50	3 ,924
1re période alimentaire : 1er, 2e, 3e, 4e et 5e jours	110 ,46	8 ,55	9 ,78	2 ,784
2e période alimentaire : 6e, 7e, 8e, 9e et 10e jours	91 ,30	4 ,27	4 ,53	1 ,560
3e période alimentaire : 11e et 12e jours	80 ,94	2 ,07	1 ,49	1 ,210
Mort à la fin du 12e jour	"	"	"	"

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. Comme dans les expériences antérieures, nous voyons le poids du corps diminuer avec le poids de l'aliment : nous ne reviendrons pas sur ce sujet.

2. La consommation d'eau a diminué dans une progression pour le moins aussi rapide que le poids de l'aliment.

3. Pour comparer les effets de l'alimentation décroissante avec ceux de l'abstinence complète des aliments, rapprochons les résultats moyens fournis par ces deux animaux, de ceux que donnent les cinq tourterelles de notre tableau n° 7, les plus voisines en poids de celles dont nous nous occupons ici, savoir celles qui sont comprises entre 130 et 152 grammes de poids initial, nous aurons :

TABLEAU N° 34.	DURÉE de LA VIE.	POIDS DU CORPS.		PERTE INTÉGRALE proportionnelle.
		POIDS initial.	POIDS FINAL.	
	jours.	grammes	grammes	
Alimentation décroissante : Tourterelles 21 et 22.....	13,50	143,52	83,82	0,416
Abstinence complète : Tourterelles 24, 5, 7, 17 et 19.	6,26	142,00	90,99	0,359

L'on voit par là que, dans l'alimentation décroissante, comme dans les autres modes d'alimentation insuffisante, la durée de la vie a été doublée et même plus que doublée, tandis que la perte intégrale proportionnelle a peu varié. Ainsi, en retardant l'époque de la mort, l'alimentation insuffisante, comme nous l'avons déjà dit, ne change point la loi en vertu de laquelle la mort arrive. Je ferai cependant remarquer que, dans nos trois cas d'alimentation décroissante, la perte intégrale proportionnelle est, en général, un peu plus forte que dans les cas correspondants d'abstinence complète, en sorte qu'il paraîtrait, comme nous l'avons

déjà fait observer aussi, que la lenteur de l'abaissement du poids permet à l'animal de perdre un peu plus que lorsque cet abaissement est plus rapide.

4. Examinons maintenant avec quelque détail ce qui se passe dans la diminution de poids du corps. La moyenne de l'alimentation normale de nos deux animaux (tourt. 21,22) $= \frac{16,57+17,03.}{2.} =$ 16g,80 de blé par jour; et la moyenne des fèces pendant cette alimentation normale $= \frac{4,092+3,924}{2} = 4^g,008$ par jour. Ainsi 16g,8 de blé ont donné 4 grammes de fèces sèches.

D'autre part, pendant l'alimentation décroissante de ces deux mêmes animaux, l'alimentation moyenne ayant été $= \frac{4,83+5,69}{2} =$ 5g,26 par jour, les fèces correspondantes ont été $= \frac{1,664+2,012}{2} =$ 1g,838. Ainsi 5g,26 de blé ont fourni 1 gram. 84 de fèces sèches.

Mais ces deux rapports des fèces au blé ne sont point égaux; $\frac{4,0}{16,8} = 0,24$; et $\frac{1,84}{5,26} = 0,35$; c'est-à-dire qu'une même quantité d'aliment produit $\frac{1}{3}$ plus de fèces dans le cas d'insuffisance que dans celui d'alimentation naturelle, ce qui est précisément le contraire de ce qu'on doit attendre, puisqu'un corps périssant par insuffisance d'aliments doit extraire du peu qu'on lui en donne plus, s'il est possible, que lorsqu'il en a en surabondance. Recherchons donc quelle peut être la cause de ce singulier résultat.

16g,8 de blé ayant produit 4 grammes de fèces, les 5g,26 de l'alimentation décroissante auraient dû n'en produire que $\frac{5,26 \times 4,0}{16,8} = 1^g,25$. Il y a donc eu chaque jour 1g,84 — 1g,25 $= 0,59$ de fèces de plus que ne comportait l'aliment consommé. Or, 0g,59, sur une durée moyenne de 13 jours 50 d'expérience, produisent un excédant total de 7g,96 de fèces.

Rapprochant maintenant ce résultat de celui des fèces dans les expériences d'abstinence (tableau n° 13), nous voyons que c'est là

à peu près le poids de fèces, supposées sèches, qu'évacue pendant toute la durée de la privation des aliments un animal qui, comme ceux-ci, perd environ 60 grammes de son poids avant que de succomber. Ceci nous montre que, dans l'alimentation insuffisante, le poids des fèces représente, non-seulement les fèces correspondant à l'aliment ingéré, mais encore celles qui se rapportent à la quantité de matière animale détruite chaque jour pour fournir aux sécrétions, en complément de ce qui n'était pas donné par l'aliment.

Nous avons une nouvelle confirmation de ceci dans les tourterelles nos 1 et 2 (alimentation insuffisante). En exécutant pour elles les calculs précédents, on trouve que l'excédant total des fèces desséchées a été, pour ces deux animaux, de $3^g,75 + 4^g,82 = 8^g,57$; et que leur perte absolue collective pendant l'inanitiation a été de $30^g,82 + 49^g,88 = 80^g,70$. Or, une perte de poids de $80^g,70$ suppose une quantité de fèces desséchées $= 8^g,96$. Le résultat ci-dessus de $8^g,57$ s'en éloigne aussi peu qu'il est possible, et confirme, par conséquent, pleinement le fait que nous avons établi ci-dessus.

Ainsi donc, dans l'alimentation insuffisante, le corps se détruit d'une quantité de matière animale proportionnée au déficit de l'aliment, fournissant de sa propre substance pour la dépense journalière du corps tout ce que l'aliment lui-même ne donne pas. C'est là la loi des régimes.

§ II. DE L'ALIMENTATION INSUFFISANTE QUANT À LA NATURE DE L'ALIMENT [1].

De l'eau.

Si l'on considère que le mouvement nutritif fait éprouver des pertes continuelles à chacun des principes qui entrent dans la composition du corps, et que ces pertes doivent être réparées pour

[1] Le sucre n'étant pour le corps qu'un aliment insuffisant, je m'étais proposé d'en traiter ici, et les expériences que j'aurais eu à rapporter sur ce sujet, comme, au reste, toutes celles

que les proportions du mélange restent les mêmes, l'on sera disposé à accorder la qualité alimentaire, en donnant à ce terme son acception la plus étendue, non-seulement à l'eau, mais aux différents corps qui réparent les pertes que nous faisons par les excrétions. Or, si l'on se rappelle que l'eau constitue les 0, 6 ou 0,7 du poids du corps, et peut-être même encore davantage (Chaussier), l'on concevra de quelle importance est ce principe, et combien il est nécessaire d'en réparer la déperdition.

Si l'on essayait de rechercher approximativement en quoi se résout la matière animale détruite pendant l'inanitiation, l'on verrait chez nos touterelles, par exemple, que, sur une perte moyenne d'environ $8^{g},5$ par jour, il y en a à peu près 2 pour la perte solide et gazeuse (fèces et acide carbonique), et 6 ou $6^{g},5$ pour la perte d'eau. Reste à savoir si, en obviant à une perte aussi forte que cette dernière, soit à l'aide de boissons, soit par une ingestion d'eau dans l'estomac, l'on pourra retarder plus ou moins l'époque de la mort.

Boissons. L'on admet d'une manière assez unanime qu'en fournissant de l'eau à un animal privé de nourriture, sa vie se trouve plus ou moins prolongée. Cette opinion, qui a probablement pris naissance dans les expériences de Redi, et que fortifient encore les remarques de Haller [1], doit être examinée expérimentalement. A cet effet, voyons si, chez nos animaux soumis à la privation complète des aliments, la vie s'est prolongée davantage lorsqu'on leur a fourni de l'eau à volonté que lorsqu'on les en a privés. Et pour cela rangeons en deux colonnes, selon qu'il y a eu ou non privation d'eau, toutes les expériences de notre tableau n° 7 sur les pigeons, les tourterelles et les lapins (les seules qui présentent la double condition précédente), et prenons la moyenne

de ce Mémoire, sont déjà complétement terminés depuis six à sept ans. Mais la longueur déjà bien grande du travail actuel ne me permettant pas d'y ajouter encore, je me vois, pour le moment, obligé de laisser de côté les expériences en question : seulement j'en ferai l'objet d'un travail particulier que je publierai plus tard.

[1] « In exemplis quæ recensuimus diuturnæ inediæ, longe plerumque aqua causa fuit sustentatæ vitæ. » (*Physiol.* t. VI, p. 181.)

des résultats de même nom. Nous en formerons le tableau suivant :

TABLEAU N° 35.	PRIVATION D'EAU.			EAU A VOLONTÉ.		
	EAU BUE.	DURÉE de la vie.	POIDS du corps.	EAU BUE.	DURÉE de la vie.	POIDS du corps.
	grammes	jours	grammes	grammes	jours	grammes
OISEAUX :						
Pigeons.....	0,00	10,99	364,92	6,56	11,80	457,33
Tourterelles.....	0,00	12,64	178,53	3,59	5,55	138,51
MAMMIFÈRES :						
Lapins.....	0,00	10,43	1,533,04	12,98	12,92	1,301,86

Je ferai sur ce tableau les observations suivantes :

1. Ce qui frappe le plus dans ces expériences, c'est la petitesse du poids journalier des boissons; pour les oiseaux, à peine un cinquième ou un sixième de la quantité normale (voy. tabl. 1 et 4); et pourtant ils avaient de l'eau à volonté[1]. Il résulte de là que la privation des aliments ôte à ces animaux la sensation de la soif presque en totalité.

La cessation du besoin des boissons se conçoit assez facilement chez les oiseaux, qui urinent peu, et chez qui les boissons, comme nous l'avons vu, ne servent guère qu'à délayer l'aliment pour le rendre digestible. Mais il n'en est pas de même des lapins et des cochons d'Inde, qui, bien que privés de boissons, ou lorsqu'ils en avaient, n'en prenant presque pas, rendaient cependant, pendant la durée de l'inanitiation, des quantités quelquefois surprenantes d'urine. Dira-t-on, comme pour les diabétiques, que cet excès d'urine dépendait d'une absorption d'eau par le poumon? Sans regarder cela comme absolument impossible, je le considère cependant comme bien peu probable; car la vapeur d'eau paraît ne devoir être absorbée qu'autant que le corps n'est

[1] Pour les lapins, la quantité normale des boissons n'a pas été déterminée.

pas saturé d'humidité, et que les parties qui le composent ont besoin de s'en approprier une quantité plus grande pour la parfaite exécution de leurs fonctions. Mais alors, cet état d'incomplète saturation est indiqué par un phénomène particulier, une sensation interne *sui generis, la soif :* or, chez nos animaux inanitiés, la soif manquait. L'on en peut donc conclure que le corps était saturé, et qu'il n'attirait rien ou presque rien du dehors, malgré la perte qu'il faisait par les urines[1]. Il paraît résulter de là, que, dans l'inanitiation, la partie aqueuse de l'urine, aussi bien que la partie solide tenue en dissolution, peut se former par le mouvement de décomposition du corps, et ne résulte pas de liquides introduits du dehors, comme cela sans doute a lieu dans l'état normal.

2. Quant à la question principale, celle de la prolongation ou de la non-prolongation de la vie par les boissons :

a. Oiseaux. Pour les pigeons, la durée de la vie a été assez sensiblement la même, qu'ils aient eu des boissons ou qu'ils en aient été privés.

Pour les tourterelles, celles qui ont été privées d'eau ont vécu plus du double de celles qui en ont eu à volonté. Mais cette différence paraît se rattacher essentiellement à l'influence du poids, qui, chez les tourterelles privées d'eau, s'est trouvé d'un quart plus grand que chez les autres.

Ainsi il ne paraît résulter d'aucunes de ces expériences que, chez les oiseaux qu'on inanitie, la vie soit prolongée par l'usage des boissons. (Voyez aussi ci-après le tableau n° 38, où les deux animaux comparés l'un à l'autre étaient à peu près de même poids.)

b. Mammifères. Chez les lapins, la durée moyenne de la vie s'est trouvée très-sensiblement plus longue pour ceux qui ont eu de l'eau que pour les autres. Ce résultat est d'autant plus digne d'être remarqué, que ce sont ceux d'entre eux qui étaient les plus légers, qui ont vécu le plus longtemps. L'influence conservatrice

[1] Il y a tellement saturation dans ce cas-là, que, chez les animaux inanitiés *avec privation de boissons*, l'on rencontre très-souvent, vers la fin de la vie, de l'œdème aux extrémités.

des boissons chez ces animaux me paraît donc tout à fait évidente; seulement je regrette de ne pouvoir l'établir que sur les résultats fournis par cinq animaux.

c. Animaux à sang froid. C'est pour eux surtout que cette influence conservatrice des boissons paraît être la plus prononcée, ainsi qu'on peut le voir en recourant aux expériences que j'ai faites sur ces animaux, et dont je crois inutile de reproduire ici les résultats. Et en effet, cela se conçoit bien; car la petite quantité de matière que ces animaux *déperdent* chaque jour ($\frac{1}{500}$ de leur poids initial pour ceux que nous avons étudiés) ne pouvant amener la mise en liberté que d'une quantité d'eau que sa petitesse met hors de toute proportion avec la perte journalière qui s'en fait par les exhalations cutanée et pulmonaire, il en résulte que la soif se développe, et quelquefois une soif assez vive. C'est là du moins ce que j'ai observé chez la tortue, les couleuvres et les lézards. Si cette soif n'est pas satisfaite, alors la perte de poids augmente avec plus de rapidité, et la vie en est plus ou moins abrégée (couleuvres).

Ainsi, en résumé, l'eau paraît d'autant plus nécessaire, qu'on s'abaisse davantage dans l'échelle de la caloricité. Il est bien entendu cependant que je ne parle que d'animaux soustraits aux causes spéciales de déperdition d'eau; car, s'il en était différemment, et s'ils étaient exposés au réchauffement, à la sueur, à la fièvre, etc. alors, je le conçois, la soif pourrait se développer, et, les boissons devenant plus nécessaires, si ce besoin n'était pas satisfait, la durée de la vie pourrait en être très-notablement modifiée. Mais ces circonstances sont tout à fait étrangères à l'inanitiation, elles ne font que se combiner avec elle [1].

Ingestion d'eau. Les animaux privés d'aliments buvant trop peu pour compenser leur perte journalière, voyons si, par l'ingestion d'une quantité d'eau équivalente à cette perte, la vie en sera prolongée sensiblement. C'est là le but des expériences suivantes :

[1] Dans le choléra, l'énorme déperdition d'eau que le corps éprouve en quelques heures me paraît jouer un rôle très-important comme cause de mort.

DIX-SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

Cinq animaux (4 tourterelles et 1 pigeon) ont été soumis à l'expérience suivante, qui chez tous a présenté en commun les particularités ci-après :

1. Pour chaque animal, l'on commençait par déterminer l'état initial, c'est-à-dire le poids, la chaleur animale, et quelquefois aussi la respiration au moment du début de l'expérience.

2. L'on procédait ensuite à l'ingestion de l'eau : à cet effet l'on introduisait jusque dans le jabot le bec très-allongé d'une petite seringue, et l'on y injectait de l'eau de 40° à 50° cent. L'on s'assurait de la quantité qu'on en injectait, en pesant la seringue avant et après l'opération, et en tenant compte, au besoin, de la régurgitation.

3. L'on répétait chaque jour, autant que possible à la même heure, les opérations précédentes (prises de poids, de chaleur, et de respiration et injection d'eau), et l'on continuait ainsi jusqu'à ce que l'animal fût parvenu au point de mort imminente, qui marquait la fin de l'expérience. J'ai obtenu de cette manière les résultats suivants :

TABLEAU N° 36.	EAU INGÉRÉE.	POIDS DU CORPS.		PERTE intégrale proportionnelle.	DURÉE de la vie.
	Moyenne diurne.	Poids initial.	Poids final.		
	gram.	gram.	gram.		jours
Tourterelle n° 8..	11,52	117,07	97,45	0,168	2,00
——— 16..	9,78	141,09	79,84	0,434	9,90
——— 13..	7,06	178,00	110,27	0,380	5,51
——— 14..	11,59	179,42	95,70	0,467	11,20
Pigeon n° 29.....	12,24	279,53	209,21	0,252	7,03
MOYENNE..	10,44	179,02	118,49	0,340	7,13

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. Les fèces ont été en général plus liquides qu'à l'ordinaire; et, dans les deux premières heures de l'ingestion, l'animal déposait beaucoup d'urines claires et transparentes.

2. Pour bien juger de ces résultats, il faut les comparer à ceux fournis par des animaux semblables aux précédents, quant au nombre, à l'espèce et au poids, mais d'ailleurs soumis à la privation complète des aliments et des boissons. A cet effet, prenons la moyenne des résultats fournis par ceux des animaux du tableau n° 7 qui satisfont aux conditions ci-dessus, savoir par les touterelles 17, 28, 15, 29; et par le pigeon 30; rapprochons cette moyenne de celle du tableau précédent, et nous aurons:

TABLEAU N° 37.	EAU consommée.	POIDS DU CORPS. Poids initial.	POIDS DU CORPS. Poids final.	PERTE intégrale proportionnelle.	DURÉE de la vie.
	gram.	gram.	gram.		jours
Animaux soumis à l'ingestion d'eau.	10,44	179,02	118,49	0,340	7,13
Animaux privés d'eau.....	0	198,17	109,44	0,448	11,18

Je ferai sur ce tableau comparatif les remarques suivantes:

a. La perte diurne des cinq animaux soumis à l'ingestion, en moyenne, a dû se rapprocher beaucoup de celle des cinq animaux privés d'eau, c'est-à-dire de 7^g, 94 par jour; ainsi l'ingestion journalière de 10^g, 44 d'eau a dû être plus que suffisante pour la couvrir. Et cependant la perte moyenne de ces cinq animaux n'en a pas moins été de 8^g, 50 par jour, ainsi un peu plus forte même que celle des cinq animaux privés d'eau.

Du reste, comme dans le cas d'abstinence, la perte diurne minimum a été en général vers le milieu de l'expérience, et la perte maximum au commencement ou à la fin.

b. La perte intégrale proportionnelle a été plus grande chez les animaux privés d'eau que chez les autres dans le rapport de

4 : 3 à peu près. Ainsi les animaux soumis à l'ingestion n'ont supporté qu'un abaissement très-notablement moindre que les autres. Il est vrai qu'ils étaient en moyenne un peu moins pesants que ceux-ci.

Un fait digne de remarque, c'est que la perte intégrale proportionnelle la plus faible à laquelle j'aie jamais vu la mort survenir, est celle de la tourterelle n° 8, qui avait reçu l'ingestion d'eau, et chez qui l'état de mort imminente s'est établi à 0, 168. Mais c'est qu'ici nous entrions déjà dans le domaine de l'état pathologique ; car chez cet animal l'eau ingérée avait déterminé dans tout le poumon, et surtout dans celui du côté gauche, une infiltration aqueuse tout à fait évidente.

c. Enfin la durée moyenne de la vie a été de 4 jours plus courte chez les animaux soumis à l'ingestion que chez les autres. Ainsi la vie a été abrégée dans le rapport de 3 : 2.

De tout ceci je crois pouvoir conclure :

1. Que, chez un animal privé d'aliments, une ingestion d'eau *hors de proportion avec la soif*, au lieu de soutenir la vie, tend au contraire à la raccourcir ; car l'animal périt plus tôt et ne supporte qu'une perte de poids moindre que s'il avait été privé d'eau. La cause de cela me paraît être : *a*, la trop grande dilution du sang qui en résulte ; au moins m'a-t-il semblé que chez la plupart de ces animaux le sang, à l'autopsie, était plus aqueux et moins coagulé que chez les autres. *b*, des dépôts aqueux qui se forment quelques fois sur certains organes tels que le poumon et le péricarde, et qui rendent l'action de l'eau, dans ces cas-là, en quelque sorte délétère sur l'économie[1].

2. Le poids du corps s'abaissant d'une manière tout aussi rapide avec l'ingestion d'eau que pendant la privation complète de ce liquide[2], l'eau ingérée ressort donc bientôt du corps, et ne contribue en rien à réparer celle que l'animal perd régulière-

[1] Ces espèces de départs sur certains organes s'observaient souvent, dans la cure des maladies fébriles, par l'ingestion de très-grandes quantités d'eau, cure qui a été si célèbre à Naples vers le commencement du siècle dernier, et qui dans ces dernières années a été renouvelée en Allemagne avec quelques modifications.

[2] Pour montrer combien peu l'ingestion d'eau modifie la diminution de poids du corps, je

ment, et que nous avons estimée d'une manière approximative à 6 grammes par jour.

Cela nous conduit à considérer cette dernière portion d'eau, non point comme le produit d'une source extérieure au corps, mais comme provenant du corps lui-même, comme l'effet du passage de la matière animale à de nouvelles combinaisons, comme le résultat de la transformation de composés albumineux, fibrineux, etc. en produits excrémentitiels, tels que la matière urinaire, la bile, l'eau et l'acide carbonique. L'eau, dans ce cas-là, est-elle véritablement produite, ou ne provient-elle pas plutôt de la simple mise en liberté de celle qui imprimait la liquidité aux composés animaux primitifs? Cette dernière opinion, qui me paraît certaine pour une grande partie de cette portion d'eau, ne

vais rapprocher, jour par jour, deux des expériences précédentes, exécutées parallèlement sur deux tourterelles de poids semblable, dont l'une était soumise à la privation des aliments et des boissons, tandis que l'autre, privée seulement des aliments, recevait une ingestion d'eau égale en moyenne à 111 grammes 59 par jour. (Tourterelles 14 et 15.)

TABLEAU N° 38.		TOURTERELLE N° 15. ABSTINENCE DE BOISSONS.		TOURTERELLE N° 14. INGESTION D'EAU.	
		Poids du corps.	Perte diurne collective.	Poids du corps.	Perte diurne collective.
		gram.		gram.	
Poids initial		190 ,82	—	179 ,42	—
			gram.		gram.
Perte de poids collective	à la fin du 1er jour		13 ,66		11 ,33
	— 2e		21 ,56		18 ,84
	— 3e		28 ,23		26 ,94
	— 4e		34 ,35		33 ,15
	— 5e		39 ,50		39 ,30
	— 6e		44 ,35		46 ,04
	— 7e		49 ,73		51 ,54
	— 8e		57 ,24		58 ,34
	— 9e		64 ,04		64 ,04
	— 10e		72 ,07		70 ,77
	— 11e		83 ,01		80 ,81
	au moment de la mort imminente..	en 11 1/8 jours.	= 90 ,52	En 11 1/4 jours.	= 83 ,72

On voit avec quelle uniformité les pertes de poids de ces deux animaux se sont suivies. L'expérience, commencée pour tous deux le même jour, s'est terminée pour tous deux le même jour aussi. Il n'y a guère eu de différence que dans les excrétions, plus abondantes et plus liquides chez l'animal soumis à l'ingestion d'eau que chez l'autre.

me semble cependant pas facile à démontrer pour sa totalité. Quoi qu'il en soit, des remarques que nous venons de faire découle la véritable théorie de l'état colliquatif.

III. DES AUTOPSIES.

Nous avons vu la mort survenir lorsque le corps avait perdu environ les 0,4 de son poids primitif; étudions maintenant dans ses détails, c'est-à-dire dans chaque organe en particulier, ce que jusqu'à présent nous n'avons considéré qu'en masse.

J'ai fait l'autopsie de presque tous les animaux qui ont servi aux expériences de ce Mémoire; mais je ne rapporterai pas chacun des résultats individuels que j'ai obtenus ainsi, parce que ces autopsies n'ont jamais présenté de lésions d'organisation, et, en particulier, parce qu'aucun organe n'a offert les caractères d'un état inflammatoire, ou présent, ou passé, depuis une époque récente[1]. Et, en effet, ce n'était pas dans des lésions de cette nature que pouvait se trouver la cause de la mort.

La question que l'autopsie avait à résoudre c'était de savoir dans quelle proportion chaque organe contribuait à former la perte des 0,4 du poids initial du corps à laquelle nous avons vu que la mort arrivait. Pour faire cette estimation avec autant d'exactitude que possible, le seul moyen qui s'est présenté à moi a été de comparer les autopsies d'animaux morts dans un état normal de nutrition avec celles d'animaux semblables morts d'inanition au bout d'un plus ou moins long terme. C'est le résultat de cette comparaison, faite avec un très-grand soin, dont je vais rendre compte présentement.

[1] « On n'imaginerait pas, dit Redi, combien les parties intérieures se trouvent belles et « saines dans les animaux qui sont morts de faim, etc. » (*Collect. acad. Part. étr.* t. IV, p. 499.) Il y aurait donc beaucoup à dire sur l'*humorum acrimonia spontanea* de Haller, comme résultat de l'inanitiation et comme cause de la mort. (*Physiol.* lib. XIX, sect. II, § 4.)

Je n'ai observé quelque trace d'altération morbide que dans le pigeon n° 34, encore n'était-ce probablement qu'une lésion accidentelle, étrangère aux expériences. (Voir vers la fin de ce Mémoire.)

DIX-HUITIÈME EXPÉRIENCE.

(Pigeons nos 1, 2; 3, 4; 5, 6; 7, 8; 9, 10; 11, 12; 13, 14; 15, 16; 17, 18; 19, 20; 21, 22.) Je me suis successivement procuré dix paires de pigeons, choisis de façon que les deux animaux de chaque paire fussent autant que possible de même âge et de même poids. Dans chaque paire, l'un des animaux a été asphyxié par strangulation[1]; l'autre a été inanitié par privation des aliments et des boissons. De cette manière, nous avons eu à comparer dix autopsies d'animaux morts dans l'état normal de la nutrition (asphyxie), avec dix autopsies, ou même, ayant inanitié deux animaux de plus qu'on n'en avait asphyxié, avec douze autopsies d'animaux semblables morts par inanitiation.

Ces autopsies ont été faites avec un soin extrême, en combinant autant que possible la lenteur pour le détail avec la célérité contre la déperdition de poids. Elles se commençaient immédiatement après la mort, et tous les organes étaient pesés dès qu'on les détachait du corps.

[1] Chez ces animaux l'asphyxie est tellement rapide qu'elle ne laisse presque aucune trace de son existence, et que l'état du poumon, le plus souvent, ne permettrait pas même de la présumer. Quant à la durée de l'asphyxie, les pigeons que nous avons asphyxiés nous ont fourni les résultats suivants :

TABLEAU N° 39.

	FIN des grands MOUVEMENTS.	DERNIÈRES EXTENSIONS et fin des mouvements fibrillaires.	RIGIDITÉ DES MEMBRES observée au bout de :	OREILLETTES encore IRRITABLES après la mort, au bout de :
Pigeon n° 1	0′ 30″	—	—	—
—— 3	0′ 40″	—	—	—
—— 5	0′ 35″	1′ 30″	—	—
—— 7	—	1′ 20″	—	—
—— 9	0′ 35″	1′ 05″	35′	—
—— 11	0′ 45″	—	—	—
—— 13	—	1′ 15″	37′	1h 21′
—— 15	—	1′ 08″	—	—
—— 17	—	1′ 12″	25′	—
—— 19	—	1′ 40″	48′	—
—— 37 âgé de 14 jours	—	1′ 22″	—	—
—— 38 âgé de 14 jours	—	2′	—	—
—— 39 âgé de 28 jours	—	1′ 30″	—	—
MOYENNE	0′ 37″	1′ 24″	36′	1h 21′

D'où l'on voit qu'en moyenne, la mort générale survient au bout de 37″ : les derniers mou-

Malgré ces précautions, quelques parties éprouvaient une assez grande déperdition avant la pesée : ce sont plus particulièrement le système musculaire, le système osseux et le système fibreux, qu'on ne pouvait obtenir isolés qu'après une exposition plus ou moins prolongée à l'air. En récapitulant mes résultats, comme on le verra plus tard (tableau n° 50), j'ai trouvé que cette déperdition produisait sur la totalité de l'autopsie une perte d'environ 8 p. o/o $\left(=\frac{30,05}{379,34}\right)$.

Pour remédier à cette cause d'inexactitude, j'ai desséché à l'étuve chauffée par la vapeur de l'eau bouillante les mêmes organes que j'avais pesés à l'état humide. La dessiccation étant poussée jusqu'à ce que les parties ne perdissent plus par une exposition ultérieure de quelques heures à la chaleur de l'étuve, les résultats se trouvaient ainsi parfaitement comparables entre eux.

J'ai réuni dans le tableau ci-joint n° 40 le résultat des pesées à l'état humide de nos vingt-deux autopsies; et dans le tableau n° 41 celui des pesées des même parties, après les avoir desséchées à l'étuve[1]. Passons maintenant à l'examen détaillé de ces résultats.

Poids du corps entier. La similitude de conditions dans les expériences que nous comparons se prouve par la similitude du poids normal moyen des animaux qui en sont l'objet. L'on trouve en effet :

TABLEAU N° 42.	ASPHYXIE.	INANITION.
	grammes	grammes
Poids normal moyen.....	379,34	385,87

D'où l'on voit que le poids moyen des animaux asphyxiés s'est

vements fibrillaires cessent au bout de 84″, c'est-à-dire au bout du double du premier temps; et enfin la rigidité des membres a été observée au bout de 36′, c'est-à-dire quand le corps était encore très-chaud.

[1] La longueur de ces dessiccations m'a empêché de passer à l'étuve les produits des autopsies de chacun de nos vingt-deux animaux; l'on verra par le tableau n° 41 ce qui ne l'a pas été.

	CANAL INTESTINAL.		FOIE.		RATE.		LES PANCREAS.		DEUX REINS.		GLANDES SURRÉNALES.		GLANDES CIRCUMANALES.		OVIDUCT.	
lium. État normal. Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.						
Pig. 1 ,36	—	2 ,20	13 ,79	4 ,12	0 ,26	0 ,04	1 ,88	0 ,24	2 ,72	2 ,05	—	—	—	—	—	—
1 ,21	7 ,12	2 ,36	18 ,47	6 ,49	0 ,15	0 ,04	2 ,07	0 ,51	5 ,02	2 ,84	—	—	—	1 ,94	—	—
1 ,46	4 ,49	2 ,01	14 ,50	4 ,11	0 ,09	0 ,01	1 ,20	0 ,28	2 ,93	1 ,83	—	—	—	—	—	—
1 ,70	5 ,35	3 ,61	10 ,45	6 ,41	0 ,23	0 ,06	1 ,49	0 ,69	4 ,08	2 ,49	—	—	—	—	—	—
1 ,31	3 ,14	2 ,64	6 ,57	5 ,47	0 ,09	0 ,05	0 ,89	0 ,56	2 ,80	2 ,09	—	—	—	—	—	—
0 ,86	4 ,23	2 ,30	7 ,77	4 ,01	0 ,15	0 ,06	1 ,20	0 ,37	2 ,10	1 ,78	—	—	1 ,28	0 ,66	—	—
0 ,71	3 ,37	1 ,86	7 ,06	3 ,35	0 ,06	0 ,03	0 ,87	0 ,30	2 ,27	1 ,18	—	—	1 ,26	—	—	—
1 ,23	4 ,07	2 ,41	7 ,37	4 ,34	0 ,06	0 ,02	0 ,93	0 ,58	2 ,60	2 ,05	0 ,06	0 ,01	1 ,51	0 ,73	0 ,29	—
1 ,15	4 ,53	2 ,99	8 ,35	5 ,92	0 ,17	0 ,04	1 ,68	0 ,52	4 ,10	2 ,71	0 ,02	0 ,01	1 ,81	1 ,00	0 ,32	0 ,13
1 ,31	5 ,87	4 ,66	10 ,26	4 ,66	0 ,13	0 ,04	2 ,01	1 ,08	3 ,11	2 ,62	—	0 ,01	2 ,02	1 ,08	0 ,48	—
—	—	—	—	6 ,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	5 ,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Moy 1 ,23	4 ,69	2 ,71	10 ,46	5 ,02	0 ,14	0 ,04	1 ,42	0 ,51	3 ,17	2 ,16	0 ,04	0 ,01	1 ,58	1 ,08	0 ,36	0 ,13
Moy de re 1 ,22	4 ,69	2 ,76	10 ,46	4 ,89	0 ,14	0 ,04	1 ,42	0 ,51	3 ,17	2 ,16	0 ,04	0 ,01	1 ,65	0 ,87	0 ,32	0 ,13

L. État normal. Inanition.	FOIE.		RATE.		LES PANCRÉAS.		DEUX REINS.		GLANDES SURRÉNALES.		GLANDES CIRCUMANALES.		OVIDUCT.	
	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.
Pig. —	—	—	—	—	—	—	—	0 ,54	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1 ,06	0 ,73	—	—	—	—	—	—
—	—	1 ,22	—	—	—	0 ,10	—	0 ,45	—	—	—	0 ,02	—	—
,81	2 ,78	1 ,63	0 ,05	0 ,02	0 ,48	0 ,17	0 ,84	0 ,50	—	—	—	—	—	—
1,47	2 ,05	1 ,03	0 ,03	0 ,01	0 ,35	0 ,07	0 ,44	0 ,38	—	—	0 ,26	0 ,18	—	—
1,56	—	1 ,06	—	0 ,01	—	0 ,15	—	0 ,41	—	0 ,01	—	0 ,13	—	—
1,70	—	1 ,48	—	0 ,02	—	0 ,14	—	0 ,56	—	0 ,01	—	0 ,26	—	0 ,04
1,85	2 ,59	1 ,24	0 ,02	0 ,01	0 ,54	0 ,25	0 ,65	0 ,50	—	—	0 ,38	0 ,22	0 ,11	—
Moye,68	2 ,47	1 ,28	0 ,03	0 ,01	0 ,46	0 ,15	0 ,75	0 ,51	—	0 ,01	0 ,32	0 ,16	0 ,11	0 ,04
Moye de,71 res	2 ,47	1 ,30	0 ,03	0 ,01	0 ,46	0 ,16	0 ,75	0 ,53	—	—	0 ,32	0 ,20	—	—

TABLEAU N° 40.

POIDS DES DIVERSES PARTIES DU CORPS A L'ÉTAT HUMIDE.

Pigeons (État normal / Inanition)	Poids du corps, État normal	Poids du corps, Inanition, Poids initial	Poids du corps, Inanition, Poids final	Plumes, État normal	Plumes, Inanition	Peau et graisse, État normal	Peau et graisse, Inanition	Système osseux, État normal	Système osseux, Inanition	Tissus fibro-séreux, État normal	Tissus fibro-séreux, Inanition	Système musculaire, Grands pectoraux, État normal	Système musculaire, Grands pectoraux, Inanition	Système musculaire, Reste des muscles, État normal	Système musculaire, Reste des muscles, Inanition	Cerveau, État normal	Cerveau, Inanition	Moelle épinière, État normal	Moelle épinière, Inanition	Deux yeux, État normal	Deux yeux, Inanition	Sang, État normal	Sang, Inanition	Cœur, État normal	Cœur, Inanition	Gros vaisseaux, État normal	Gros vaisseaux, Inanition	Deux poumons, État normal	Deux poumons, Inanition	Trachée et larynx, État normal	Trachée et larynx, Inanition	Glandes du cou, État normal	Glandes du cou, Inanition	Œsophage et jabot, État normal	Œsophage et jabot, Inanition	Estomac, Musculeux, État normal	Estomac, Musculeux, Inanition	Estomac, Épithélium, État normal	Estomac, Épithélium, Inanition	Canal intestinal, État normal	Canal intestinal, Inanition	Foie, État normal	Foie, Inanition	Rate, État normal	Rate, Inanition	Les pancréas, État normal	Les pancréas, Inanition	Deux reins, État normal	Deux reins, Inanition	Glandes surrénales, État normal	Glandes surrénales, Inanition	Glandes circumanales, État normal	Glandes circumanales, Inanition	Oviducte, État normal	Oviducte, Inanition
	gr	gr.	gr.	gr.	gr.		gr.		gr.			gr.	gr.		gr.		gr.		gr.		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.			gr.	gr.		gr.						gr.		gr		gr	gr	gr	gr	gr.	gr	gr	gr	gr						
Pig. 1 et 2	402,55	392,13	208,36	31,34	28,81	—	11,65	—	31,36	—	—	69,18	26,11	—	53,17	—	2,07	—	0,73	—	2,59	11,78	3,82	4,73	2,35	—	—	3,50	2,85	—	0,82	—	—	—	—	—	3,69	—	1,30	—	2,2[illegible]	13,79	4,12	0,26	0,0[illegible]	1,88	0,2[illegible]	2,72	2,0[illegible]						
3 » 4	455,00	463,48	247,41	44,68	28,23	56,40	17,95	45,13	40,09	—	—	66,02	26,51	103,43	64,76	2,36	2,34	0,81	0,73	2,39	2,63	13,12	3,48	4,43	2,32	—	—	5,31	3,29	1,20	0,09	—	—	4,08	—	8,60	3,66	1,40	1,21	7,12	2,36	18,47	[illegible]	0,15	0,0[illegible]	2,07	0,51	5,02	2,81	—	—	—	—	—	—
5 » 6	385,39	381,38	182,59	27,19	24,50	70,25	12,55	31,52	27,51	—	—	50,01	18,50	88,82	47,55	2,00	2,05	0,79	0,73	2,33	2,32	12,52	3,55	3,39	1,69	0,30	0,25	2,63	1,84	0,99	0,55	—	—	4,37	1,64	7,35	4,18	0,97	1,46	4,49	2,01	14,50	4,11	0,09	0,01	1,20	0,28	2,93	1,83	—	—	—	1,94	—	—
7 » 8	463,16	463,67	281,73	34,83	40,73	74,66	18,68	39,21	43,91	—	—	83,25	30,44	119,80	76,76	2,41	2,54	0,04	1,07	2,72	2,72	15,67	4,66	5,92	2,54	0,82	0,55	3,98	3,33	0,83	0,73	—	—	4,03	2,78	9,65	7,79	1,27	1,76	5,35	3,64	10,45	6,41	0,23	0,06	1,49	0,66	4,08	2,49	—	—	—	—	—	—
9 » 10	379,43	401,58	246,18	23,76	25,32	51,75	12,84	29,47	31,37	1,14	1,11	58,13	36,52	93,62	71,92	2,39	2,41	0,80	0,70	2,34	2,67	11,14	4,51	4,16	2,49	—	—	3,27	2,51	0,55	0,48	—	—	3,31	2,6[illegible]	6,95	4,81	0,89	1,31	3,14	2,6[illegible]	6,57	5,47	0,09	0,05	0,81	0,56	2,80	2,09	—	—	—	—	—	—
11 » 12	267,46	290,79	179,10	21,63	26,42	45,57	9,85	20,95	23,54	1,07	0,90	55,19	24,40	70,71	40,40	2,11	2,23	0,74	0,58	2,13	—	10,37	4,89	3,23	1,80	0,37	0,20	2,15	2,04	0,50	0,32	0,11	0,04	3,27	1,70	6,66	3,85	0,80	0,80	4,23	2,30	7,77	4,01	0,15	0,06	1,20	0,37	2,10	1,78	—	—	1,28	0,66	—	—
13 » 14	322,00	315,38	200,27	18,32	19,94	54,23	11,17	24,87	25,78	1,12	1,33	60,35	32,59	—	—	—	—	—	—	—	—	10,81	5,28	3,39	1,59	—	—	2,32	1,84	0,43	0,52	—	—	2,98	1,76	5,79	4,45	0,91	0,71	3,37	1,80	7,06	3,35	0,00	0,03	0,87	0,30	2,27	1,18	—	—	1,26	—	—	—
15 » 16	320,60	322,84	223,06	24,22	24,73	—	12,96	—	27,13	—	2,15	60,79	34,74	—	61,01	2,25	2,16	0,74	0,75	—	2,23	11,29	4,05	3,48	2,25	0,38	0,30	2,17	2,39	0,47	0,39	0,08	0,02	2,71	2,50	7,61	5,15	1,26	1,23	1,07	2,41	7,37	4,34	0,06	0,02	0,93	0,58	2,10	2,05	0,06	0,01	1,51	0,73	0,29	—
17 » 18	380,54	298,21	265,80	25,81	30,56	43,75	18,65	32,45	30,94	3,44	3,01	71,55	41,20	92,31	65,79	2,20	2,21	0,80	0,78	2,64	2,40	13,24	6,49	5,33	3,01	0,36	0,30	3,03	2,52	0,63	0,56	0,15	0,05	3,96	3,26	9,34	5,61	1,23	1,15	1,53	2,99	8,35	5,92	0,17	0,01	1,68	0,52	4,10	2,71	0,02	0,01	1,81	1,00	0,32	0,13
19 » 20	392,19	371,60	229,21	24,67	23,12	59,52	13,09	32,40	22,54	3,11	2,75	55,51	32,28	85,00	55,27	2,28	2,21	0,55	0,78	—	—	17,18	6,47	3,63	2,39	0,37	0,25	3,05	1,92	0,74	0,44	0,12	0,10	4,40	3,04	10,66	5,50	1,07	1,31	5,87	4,66	10,26	4,60	0,13	0,04	2,04	1,08	3,11	2,62	—	0,01	2,02	1,08	0,48	—
» » 21	—	412,50	270,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,26	—	—	—	—	—	—	—	2,94	—	6,18	—	2,59	—	0,43	—	2,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» » 22	—	374,90	225,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35,45	—	—	—	—	—	—	—	2,47	—	5,19	—	2,21	—	0,23	—	2,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Moyenne générale	379,34	355,87	230,00	27,94	27,20	58,14	14,02	32,01	30,76	2,10	1,88	61,03	31,37	93,29	59,64	2,25	2,25	0,83	0,77	2,43	2,56	12,74	4,88	4,17	2,30	0,45	0,33	3,17	2,40	0,70	0,55	0,12	0,05	3,68	2,42	8,07	4,87	1,09	1,23	4,60	2,71	10,46	5,02	0,14	0,04	1,42	0,51	3,17	2,16	0,04	0,01	1,58	1,08	0,36	0,13
Moyenne partielle des animaux correspondants...	379,34	381,31	226,37	27,04	27,26	58,14	14,46	32,01	31,13	2,10	1,53	64,03	30,37	93,29	60,36	2,25	2,27	0,83	0,77	2,48	2,56	12,74	4,72	4,17	2,28	0,45	0,33	3,17	2,45	0,70	0,52	0,12	0,05	3,63	2,42	8,07	5,00	1,09	1,22	4,60	2,76	10,46	4,89	0,14	0,04	1,42	0,51	3,17	2,16	0,04	0,01	1,65	0,87	0,32	0,13

TABLEAU N° 41.

POIDS DES DIVERSES PARTIES DU CORPS A L'ÉTAT DE DESSICCATION.

Pigeons (État normal / Inanition)	Peau, État normal	Peau, Inanition	Graisse, État normal	Graisse, Inanition	Système osseux, État normal	Système osseux, Inanition	Tissus fibro-séreux, État normal	Tissus fibro-séreux, Inanition	Système musculaire, Grands pectoraux, État normal	Système musculaire, Grands pectoraux, Inanition	Système musculaire, Reste des muscles, État normal	Système musculaire, Reste des muscles, Inanition	Encéphale et moelle épinière, État normal	Encéphale et moelle épinière, Inanition	Deux yeux, État normal	Deux yeux, Inanition	Cœur, État normal	Cœur, Inanition	Gros vaisseaux, État normal	Gros vaisseaux, Inanition	Deux poumons, État normal	Deux poumons, Inanition	Trachée et larynx, État normal	Trachée et larynx, Inanition	Glandes du cou, État normal	Glandes du cou, Inanition	Œsophage et jabot, État normal	Œsophage et jabot, Inanition	Estomac, Musculeux, État normal	Estomac, Musculeux, Inanition	Estomac, Épithélium, État normal	Estomac, Épithélium, Inanition	Canal intestinal, État normal	Canal intestinal, Inanition	Foie, État normal	Foie, Inanition	Rate, État normal	Rate, Inanition	Les pancréas, État normal	Les pancréas, Inanition	Deux reins, État normal	Deux reins, Inanition	Glandes surrénales, État normal	Glandes surrénales, Inanition	Glandes circumanales, État normal	Glandes circumanales, Inanition	Oviducte, État normal	Oviducte, Inanition
						gr.			gr.	gr.																																						
Pig. 1 et 2	—	—	—	—	—	15,90	—	—	17,62	7,72	—	—	—	—	—	—	1,04	0,58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,54	—	—	—	—	—	—
3 » 4	11,89	8,34	23,54	5,10	24,05	25,60	—	—	15,46	8,77	29,82	24,60	—	—	—	—	0,97	0,61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,06	1,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,06	0,73	—	—	—	—	—	—
5 » 6	8,17	5,02	53,75	0,10	—	14,41	—	—	—	5,12	—	14,63	—	0,59	—	0,23	—	0,37	—	0,07	—	0,48	—	0,17	—	—	—	—	—	1,23	—	0,61	—	—	—	1,22	—	—	—	0,10	—	0,45	—	—	—	0,02	—	—
7 » 8	—	—	—	—	—	—	—	—	21,79	6,41	31,23	18,12	0,70	0,68	0,23	0,21	1,27	0,52	0,28	0,13	0,93	0,75	0,26	0,19	—	—	1,17	0,67	2,20	1,83	0,73	0,68	1,70	0,81	2,78	1,63	0,05	0,02	0,48	0,17	0,84	0,50	—	—	—	—	—	—
11 » 12	—	3,60	—	—	14,32	12,17	0,53	0,32	14,46	5,83	19,05	10,26	0,57	0,52	0,17	0,15	0,72	0,40	0,11	—	0,53	0,47	0,15	0,10	—	—	0,85	0,44	1,63	1,06	0,44	0,43	1,19	0,47	2,05	1,03	0,03	0,01	0,35	0,07	0,44	0,39	—	—	0,20	0,18	—	—
15 » 16	—	4,36	—	—	—	13,99	—	0,78	—	7,58	—	14,95	—	0,55	—	0,15	—	0,47	—	0,06	—	0,50	—	0,10	—	0,01	—	0,61	—	1,32	—	0,54	—	0,56	—	1,06	—	0,01	—	0,15	—	0,41	—	0,01	—	0,13	—	—
17 » 18	—	5,70	—	—	—	16,28	—	1,06	18,58	9,39	24,32	15,45	—	0,59	—	0,25	—	0,63	—	0,10	—	0,59	—	0,18	—	0,02	—	0,81	—	1,55	—	0,51	—	0,70	—	1,48	—	0,02	—	0,14	—	0,56	—	0,01	—	0,26	—	0,04
19 » 20	—	4,29	—	—	21,17	11,84	1,48	0,97	13,35	7,40	22,53	12,98	0,64	0,54	0,19	0,18	0,79	0,45	0,15	0,06	0,66	0,43	0,23	0,12	0,03	0,01	1,04	0,58	2,54	1,30	0,63	0,50	1,55	0,85	2,59	1,24	0,02	0,01	0,54	0,25	0,65	0,50	—	—	0,38	0,22	0,11	—
Moyenne générale.	10,03	5,22	38,64	2,60	19,85	15,74	1,00	0,78	16,88	7,28	25,39	15,86	0,64	0,58	0,20	0,20	0,96	0,50	0,18	0,08	0,71	0,54	0,21	0,14	0,03	0,01	1,02	0,62	2,11	1,36	0,60	0,55	1,48	0,68	2,47	1,28	0,03	0,01	0,46	0,15	0,75	0,51	—	0,01	0,32	0,16	0,11	0,04
Moyenne partielle des animaux correspondants....	10,03	6,68	38,64	2,60	19,85	16,54	1,00	0,65	16,88	7,59	25,39	16,28	0,64	0,58	0,20	0,18	0,96	0,51	0,22	0,10	0,71	0,55	0,21	0,14	0,03	0,01	1,02	0,56	2,11	1,35	0,60	0,54	1,48	0,71	2,47	1,30	0,03	0,01	0,46	0,16	0,75	0,53	—	—	0,32	0,20	—	—

trouvé aussi voisin que possible du poids initial moyen des animaux inanitiés. Ainsi les deux séries correspondantes d'expériences sont très-exactement comparables.

La perte intégrale proportionnelle de nos douze animaux inanitiés a été en moyenne $= \frac{385,87 - 230,00}{385,87} = 0,404$, c'est-à-dire que la perte qui a amené la mort a été chez eux en moyenne $= 0,4$ du poids initial ou normal du corps. C'est à ce rapport de totalité que nous aurons à comparer celui de chacune des parties du corps, considérées isolément.

Plumes. Le poids moyen des plumes étant sensiblement le même chez nos animaux asphyxiés et chez ceux qui ont été inanitiés, savoir : $27^g,94$ et $27^g,26$, ces parties ne contribuent en rien à la perte de poids qui résulte de l'inanitiation.

Sang. L'on a cherché autant que possible à le recueillir en totalité, et pour y parvenir l'on a employé la méthode suivante :

a. De suite après la mort l'on enlevait les plumes; l'on détachait l'un des grands pectoraux de ses insertions; l'on liait le paquet des vaisseaux axillaires, et l'on enlevait le muscle, après en avoir exprimé et recueilli le sang. *b.* L'on ouvrait les vaisseaux axillaires, et le sang qui s'en écoulait était recueilli avec de petites éponges, pesées immédiatement avant et après les avoir chargées de sang. En pressant le thorax et le ventre, l'on finissait par vider le tronc de presque tout son sang. *c.* Quand on n'obtenait plus rien ainsi, l'on détachait l'autre grand pectoral, et, ouvrant successivement le thorax, le ventre et le reste du corps, l'on recueillait le sang des organes qui en contenaient, à mesure qu'on les détachait pour les peser.

L'on mettait à ces opérations toute la célérité possible pour éviter la déperdition par l'effet de l'air; et elles étaient facilitées par un certain degré de fluidité que conservait encore le sang, soit après l'asphyxie, soit après l'inanitiation. Nous avons obtenu de cette manière les résultats suivants :

1. Dans l'état normal (asphyxie), et dans l'inanition, le poids moyen du sang s'est trouvé comme suit :

TABLEAU N° 43.	ÉTAT NORMAL.	INANITION.	PERTE INTÉGRALE proportionnelle.
	grammes	grammes	
Poids moyen du sang.....	12,74	4,88	0,617

Ainsi le sang se consume par l'inanitiation; et, lorsque la mort arrive, la perte qu'il a éprouvée s'élève à plus de 0,6 de la quantité normale, c'est-à-dire à plus de moitié en sus de ce que comportait la perte moyenne du corps chez les mêmes animaux. La perte porte donc en excès sur lui.

2. Dans l'état normal, le sang $= \frac{12,74}{385,87} = 0,033$ de poids du corps. Après l'inanitiation, il n'est plus que $= \frac{4,88}{385,87} = 0,013$ de poids initial; et $= \frac{4,88}{230,00} = 0,021$ du poids final du corps.

Chez les lapins n^{os} 2 et 3 j'ai trouvé :

TABLEAU N° 44.	ÉTAT NORMAL.	INANITION.
	grammes	grammes
Poids moyen du corps.....	1,622,53	1,007,22
Poids moyen du sang après l'inanitiation.....	—	15,70

Ce qui donne, pour le rapport du poids du sang au poids initial du corps, 0,0097, et au poids final du corps, 0,0156. Ces deux rapports, sans être égaux à ceux fournis par les pigeons, sont cependant entre eux absolument comme ces derniers, c'est-à-dire que $\frac{13}{21} = \frac{97}{156}$ à très-peu près.

3. Un autre résultat de l'inanitiation, d'ailleurs tout à fait indépendant de l'usage ou de la privation des boissons, c'est l'augmentation relative de la portion aqueuse du sang; de sorte que, après la mort, ce dernier liquide se trouve plus clair et plus séreux que dans l'état normal. C'est là du moins ce que j'ai observé dans tous les cas où j'ai particulièrement noté l'état du sang quant à son degré d'atténuation.

Or, en supposant que chez les animaux inanitiés le sang soit amené au même degré d'atténuation qu'un mélange de deux parties de sang naturel et d'une partie d'eau (hypothèse qui me paraît bien plutôt en dessous qu'en dessus de la vérité, autant qu'on peut estimer ces choses-là à vue d'œil), l'on en conclura que, par l'inanitiation, le sang se réduit aux $0{,}387 \times 0{,}66$, soit en nombre rond aux $0{,}25$ de sa quantité primitive, et que par conséquent sa perte intégrale proportionnelle se trouve réellement égale à $0{,}750$. C'est aussi là le résultat que nous adopterons par la suite.

Du reste, on peut reconnaître déjà pendant la vie cette atténuation du sang par la pâleur de l'intérieur de la bouche des animaux qu'on inanitie. Mais un moyen préférable à celui-là, en ce qu'il nous permet de suivre à l'œil les progrès de l'altération dont nous parlons, c'est d'observer les dégradations successives de teinte qu'éprouve la crête des gallinacés, quand on soumet ces animaux à la privation complète des aliments. C'est dans cette intention-là qu'ont été faites les deux expériences suivantes :

DIX-NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

Une poule forte et vigoureuse (n° 1, tableau 7) a été soumise à la privation complète des aliments et des boissons : sa crête a présenté les changements suivants :

DURÉE de L'INANITIATION.	POIDS DU CORPS.	
	grammes	
Début.....	951 ,76	Crêtes supérieure et inférieure d'un beau rouge écarlate, sans nuance de bleuâtre.
4e jour.....	845 ,83	Crêtes moins vermeilles, un peu rabougries : la différence jusqu'à présent n'est encore que légère.
9e *idem*.....	703 ,70	Crête supérieure rapetissée, d'un rouge sale, un peu bleuâtre. Crête inférieure amincie, d'un blanc jaunâtre à la circonférence, d'un rouge pâle dans le reste de son étendue.
12e *idem*.....	622 ,44	Crête à peu près comme ci-dessus : la supérieure d'un rouge veineux; l'inférieure très-pâle dans sa portion centrale, entièrement décolorée à sa circonférence.
19e *idem*.....	448 ,72	Mort. Pendant ces derniers jours la crête supérieure s'est flétrie et beaucoup rapetissée. Elle est d'un rouge pâle vers sa racine, d'une teinte bleuâtre sale vers sa circonférence. La crête inférieure est très-mince, flétrie, roulée sur elle-même, presque incolore, d'un rouge jaunâtre très-sale. Le tissu érectile du voisinage des yeux et des oreilles a suivi les mêmes phases que les crêtes. Autopsie. Maigreur excessive, telle que le grand pectoral ne pèse que 9 gr.,39. Totalité du sang = 6 gr. 28. Beaucoup de sérosité dans le péricarde.

VINGTIÈME EXPÉRIENCE.

Poule forte et vigoureuse (n° 2, tableau 7) soumise comme la précédente à la privation complète des aliments et des boissons. Sa crête a offert les changements suivants :

DURÉE de L'INANITIATION.	POIDS DU CORPS.	
	grammes.	
Début.....	1,019,75	Crêtes bien rouges.
5e jour.....	862,92	Crêtes d'un rouge un peu bleuâtre et moins grosses que dans l'état naturel.
10e *idem*.....	761,52	Crêtes ridées et rapetissées, d'un rouge bleuâtre quand l'animal est en repos, d'un rouge plus vif quand il s'agite.
15e *idem*.....	644,24	Crêtes de la machoire inférieure amincies, blanchâtres à la circonférence, d'un rouge jaunâtre dans le reste de leur étendue. A la machoire supérieure elles sont moins amincies, mais flétries, rabougries et d'un rouge bleuâtre.
19e *idem*.....	484,46	Mort. Pendant ces cinq derniers jours, les crêtes sont devenues de plus en plus pâles et ont fini par se recouvrir comme d'une écorce décolorée.
		Autopsie. Amaigrissement extrême; muscles tout à fait pâles; cœur petit et contracté; fort peu de sang; épanchement séreux dans le péricarde.

Je ferai sur ces deux expériences les remarques suivantes :

a. A mesure que le poids de l'animal s'abaissait, les crêtes se flétrissaient, se rapetissaient, et le sang paraissait de plus en plus s'en retirer.

b. A mesure que les forces diminuaient, les crêtes perdaient leur couleur écarlate, et prenaient une teinte d'un rouge successivement bleuâtre, jaunâtre, blanchâtre. Cette teinte reprenait de nouveau quelque chose d'un peu rutilant, lorsque l'agitation de l'animal amenait pour un moment un plus grand déploiement de forces.

c. Après la mort, on a trouvé chez ces deux animaux un épanchement séreux dans le péricarde, quoiqu'il y eût eu privation de boissons comme d'aliments; preuve évidente de l'augmentation d'aquosité du sang.

Et, à cette occasion, je dirai que chez la plupart de nos pigeons inanitiés, si ce n'est dans tous, j'ai trouvé une infiltration séreuse dans le bout des ailerons, sorte de leucophlegmasie partielle, digne de remarque assurément chez des animaux d'ailleurs entièrement privés de boissons. Du reste, je n'ai point fait de recherche à cet égard chez les autres espèces d'animaux dont je me suis occupé, sauf chez les grenouilles où, à la leucophlegmasie, se trouvait jointe l'hydropisie des grandes cavités du tronc.

Revenons maintenant à nos autopsies comparées :

4. Je ne quitterai pas ce sujet sans faire connaître une altération très-singulière du sang que j'ai observée chez six de nos grenouilles, dont la mort a été précédée d'une très-longue inanitiation, savoir de 9 à 14 mois (grenouilles 2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e; tableau 19)[1].

Chez elles, le sang rouge avait complétement disparu, excepté chez la 4e et la 5e, où l'on en retrouvait encore quelques restes; et il avait été remplacé par un liquide noir, semblable à une solution étendue d'encre de sépia, qui remplissait tous les vaisseaux du corps, ceux des membres, ceux du mésentère, ceux des poumons et du cerveau; même les épanchements des grandes cavités paraissaient avoir un peu de la teinte mélanosée.

Mais l'organe qui était le siége principal, et, peut-être même à cause de cela, l'origine de cette mélanose générale, c'est le foie. Il avait changé sa couleur hépatique contre une teinte noire assez intense pour tacher le papier comme l'aurait fait l'encre de Chine, et d'une tache qui se conserve encore sans altération depuis six ans. Dans ces foies mélanosés, la bile de la vésicule, tout en devenant très-liquide, était tantôt verte et tantôt roussâtre.

Dans la 4e grenouille, où la mélanose n'était pas encore complétement établie au moment de la mort, le foie a été trouvé d'un brun un peu rougeâtre, et non pas couleur sépia. Il ne teignait le papier qu'en brun chocolat.

[1] La grenouille n° 1, qui a vécu seize mois, et par conséquent plus longtemps que celles-ci, n'a point été autopsiée.

Système musculaire. Il nous a fourni pour moyennes les résultats suivants :

TABLEAU N° 45.	ÉTAT NORMAL.	INANITION.	PERTE INTÉGRALE proportionnelle.
	grammes	grammes	
Poids total à l'état humide.....	157,32	90,73	0,423
Poids total après dessiccation à l'étuve.	42,27	23,87	0,435

Je ferai observer à cet égard :

1° Que ces deux pertes intégrales proportionnelles diffèrent fort peu l'une de l'autre, et montrent que les pesées à l'état humide donnent sensiblement le même résultat que celles après complète dessiccation à l'étuve;

2° Que la perte intégrale proportionnelle du système musculaire est un peu supérieure à la perte intégrale proportionnelle de la totalité du corps, et que par conséquent la déperdition porte en excès sur ce système.

3° Un fait curieux, c'est que la perte intégrale proportionnelle des muscles grands pectoraux est très-notablement plus grande que celle du reste du système musculaire.

Pour mettre ce fait en évidence, et pour mieux écarter toute cause d'incertitude résultant de l'effet desséchant de l'air, ne prenons, pour déterminer nos moyennes, que celles de nos paires de pigeons chez lesquelles le système musculaire a été pesé tout à la fois à l'état humide et après une complète dessiccation à l'étuve (pig. 3 et 4, 7 et 8, 11 et 12, 17 et 18, 19 et 20), nous aurons:

TABLEAU N° 46.	PERTE INTÉGRALE PROPORTIONNELLE.	
	Grands pectoraux.	Reste des muscles.
Moyenne à l'état humide.....	0,531	0,356
——— à l'état de dessiccation.....	0,550	0,359

D'où l'on voit que les résultats de l'étuve sont sensiblement d'accord avec ceux de l'état humide, et que la perte respective des deux ordres de muscles que nous comparons est à peu près dans le rapport de 3 : 2.

Cette différence remarquable ne pouvant tenir qu'au repos forcé où sont restés les grands pectoraux, par suite du séjour des animaux dans leurs cages, il découle de là que le mouvement de décomposition qui résulte de la privation de nourriture s'exerce plus facilement sur ceux des muscles qui restent dans un repos obligé, que sur ceux chez lesquels les mouvements ordinaires de l'animal entretiennent l'action nutritive et la force de résistance aux causes de déperdition.

Le cœur. J'arrive maintenant à l'un des points les plus importants de ces autopsies, en sorte que je le traiterai avec un peu plus de détail.

a. La prise de poids du cœur a été faite de la manière suivante : de suite après l'ouverture du thorax et le sang des gros vaisseaux recueilli, le péricarde a été incisé, le cœur détaché, les gros vaisseaux coupés rez leur origine, les quatre cavités ouvertes et essuyées sur une éponge ; enfin le cœur a été pesé. Par une opération subséquente, l'on a séparé la graisse quand il s'en trouvait, et l'on en a déduit le poids de celui du cœur lui-même. De cette manière, les poids du cœur que nous indiquons ne se rapportent qu'à la portion musculo-tendineuse et aux valvules, c'est-à-dire au muscle circulatoire proprement dit, abstraction faite de toute partie étrangère. Du reste, on a cherché à éviter, autant que possible, la dessiccation à l'air préalablement à la pesée.

b. La quantité moyenne de graisse enlevée au cœur a été dans l'état normal $= 0^{g},119$. Dans l'inanitiation, une seule fois sur douze, on a trouvé de la graisse au cœur, et encore n'était-ce que $0^{g},016$ [1].

c. Le poids normal du cœur varie en raison du poids normal du corps; chez nos pigeons, il en représente en moyenne la

[1] Nous présentons, dans le tableau suivant, les quantités de graisse trouvées au cœur dans

$\frac{1}{91}$ partie. Si notre tableau général d'autopsies (n° 40) nous offre des poids normaux du cœur très-différents les uns des autres, c'est qu'ils se rapportent à des poids normaux du corps qui présentent des différences analogues.

d. Le poids moyen du cœur, dans l'état normal et dans l'inanitiation, a été le suivant :

TABLEAU N° 48.	ÉTAT normal.	INANITION.	PERTE intégrale proportionnelle.
	gram.	gram.	
Poids du cœur à l'état humide.....	4 ,17	2 ,30	0 ,448
Poids du cœur après dessiccation à l'étuve.	0 ,96	0 ,51	0 ,469

Je ferai observer sur ces résultats :

1. Que la différence entre les pertes intégrales proportion-

chacune de nos autopsies comparées, afin qu'on puisse recomposer le poids de cet organe tel que les autopsies nous l'ont primitivement fourni.

TABLEAU N° 47.

GRAISSE DU CŒUR.

ÉTAT NORMAL.		INANITION.	
			grammes.
1er pigeon.....	un peu	2e pigeon.....	0 ,000
3e *idem*.....	un peu	4e *idem*.....	0 ,016
	grammes.		
5e *idem*.....	0 ,116	6e *idem*.....	0 ,000
7e *idem*.....	0 ,175	8e *idem*.....	0 ,000
9e *idem*.....	0 ,097	10e *idem*.....	0 ,000
11e *idem*.....	0 ,097	12e *idem*.....	0 ,000
13e *idem*.....	0 ,149	14e *idem*.....	0 ,000
15e *idem*.....	0 ,065	16e *idem*.....	0 ,000
17e *idem*.....	0 ,077	18e *idem*.....	0 ,000
19e *idem*.....	0 ,175	20e *idem*.....	0 ,000
		21e *idem*.....	0 ,000
		22e *idem*.....	0 ,000
Somme.....	0 ,951	Somme.....	0 ,016
Moyenne.....	0 ,119	Moyenne.....	0 ,001

nelles, à l'état humide et à l'état sec, n'est que fort légère, et qu'elle tient à ce que, dans ce dernier cas, le rapport ne porte pas sur le même nombre d'expériences que dans le premier, comme on peut s'en assurer.

2. Une remarque de la plus haute importance, c'est que la perte intégrale proportionnelle du cœur est presque identique avec celle de l'ensemble du système musculaire. Ainsi, dans l'inanitiation, le cœur varie comme les muscles, et les muscles comme le cœur; et par conséquent le volume actuel des muscles pourra servir de critère pour juger du volume actuel du cœur.

La diminution *rapide* du poids du cœur par l'effet de l'abstinence est tout à la fois l'un des faits les plus intéressants de l'histoire de l'inanition, et l'un des plus importants par les conséquences pratiques qui en résultent[1]. Et cette diminution est un fait constant, car il n'est aucun de nos dix couples de pigeons qui ne l'ait offerte de la manière la plus frappante, en sorte que la moyenne que nous obtenons n'est pas, comme on le voit quelquefois, un milieu entre des variations opposées qui se corrigent mutuellement, mais un milieu entre des résultats d'une uniformité remarquable.

3. J'ai fait quelques autres recherches curieuses sur ce sujet, et je vais en rendre compte.

α. J'ai pris avec beaucoup de soin la longueur du tronc depuis le bout du bec jusqu'à celui du coccyx chez six pigeons asphyxiés et huit pigeons inanitiés : j'ai rapproché de ces longueurs le poids du cœur des mêmes animaux, et j'ai obtenu les résultats suivants :

[1] C'est là en effet, avec les résultats sur la perte en excès éprouvée par le sang (tableau n° 43), la véritable base de la théorie du traitement de Valsalva. Il en résulte aussi la nécessité, tant d'une longue persévérance dans ce traitement, afin que le cœur et le sang ne reviennent pas trop tôt à leur poids antérieur, que d'une extrême prudence dans son administration, qui devrait être essentiellement dirigée par des pesées du corps régulières et rapprochées.

TABLEAU N° 49.	LONGUEUR DU TRONC.		POIDS DU CŒUR.	
	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.
	millim.	millim.	gram.	gram.
Pigeons n° 7 et 8.....	280	280	5,92	2,54
—— 9 10.....	270	270	4,16	2,49
—— 11 12.....	240	257	3,23	1,86
—— 13 14.....	250	260	3,39	1,89
—— 15 16.....	256	260	3,48	2,25
—— 17 18.....	275	277	5,33	3,00
—— — 20.....	—	244	—	2,39
—— — 23.....	—	251	—	2,28
Moyenne.....	262	262	4,25	2,34

Il résulte de ce tableau que, *en moyenne, la longueur du tronc restant la même, l'inanitiation a fait baisser le poids du cœur dans la proportion de* 4,25 : 2,34, c'est-à-dire = 11 : 6.

6. J'ai recherché alors à quelle longueur du tronc correspondait, dans l'état normal, un cœur du poids de 2g,34. A cet effet, j'ai examiné des pigeons de différents âges, et j'ai trouvé qu'il fallait descendre à des pigeons d'environ quatorze jours pour trouver dans l'état normal un cœur du poids d'à peu près 2g,34, ainsi qu'on va le voir.

VINGT ET UNIÈME EXPÉRIENCE.

Quatre pigeons de différents âges ont été soumis aux genres de mort suivants :

Un pigeon naissant, à la mort par refroidissement spontané, en le privant de la chaleur maternelle pendant quelques heures seulement.

Deux pigeons de 14 jours et un pigeon de 28 jours, à l'asphyxie par strangulation. Ces quatre animaux, qui nous représentent tous l'état normal à différents âges, ont fourni à l'autopsie les ré-

sultats consignés dans le tableau suivant, dans la dernière colonne duquel nous avons ajouté les nombres relatifs aux pigeons adultes à l'état normal déduits en moyenne du tableau général des autopsies (tableau n° 40).

TABLEAU N° 50.

	PIGEON naissant, n° 35.	PIGEONS de 14 jours.		PIGEON de 28 jours, n° 39.	PIGEON ADULTE.
		PIGEON n° 37.	PIGEON n° 38.		
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.
Poids du corps	14 ,93	175 ,47	185 ,83	384 ,68	379 ,34
Plumes	—	13 ,99	17 ,22	41 ,87	27 ,94
Peau et graisse	1 ,38	14 ,32	14 ,35	—	58 ,14
Os	1 ,59	17 ,24	13 ,36	—	32 ,01
Tissus fibreux et séreux	0 ,04	1 ,33	1 ,20	—	2 ,10
Muscles.. Grands pectoraux	0 ,27	10 ,16	11 ,88	53 ,79	64 ,03
Muscles.. Reste des muscles	1 ,68	25 ,18	24 ,09	—	93 ,29
Cerveau	0 ,36	1 ,49	1 ,33	2 ,09	2 ,25
Moelle épinière	0 ,07	0 ,30	0 ,24	0 ,54	0 ,83
Deux yeux	0 ,61	1 ,50	1 ,36	—	2 ,43
Sang	0 ,29	7 ,06	9 ,24	16 ,31	12 ,74
Cœur	0 ,15	2 ,18	2 ,36	4 ,51	4 ,17
Gros vaisseaux	—	0 ,23	0 ,26	0 ,52	0 ,45
Deux poumons	0 ,14	1 ,44	1 ,40	3 ,33	3 ,17
Trachée-artère et larynx	0 ,12	0 ,35	0 ,32	0 ,63	0 ,70
Glandes du cou	0 ,08	0 ,61	0 ,52	1 ,42	0 ,12
Pharynx, œsophage et jabot, vidés	0 ,30	3 ,12	3 ,68	2 ,48	3 ,68
Estomac.. musculeux	0 ,40	6 ,12	6 ,14	5 ,90	8 ,07
Estomac.. épithélium	0 ,12	0 ,91	0 ,92	1 ,18	1 ,09
Intestins vidés	0 ,32	4 ,21	4 ,98	3 ,42	4 ,69
Foie	0 ,42	9 ,74	9 ,96	10 ,33	10 ,46
Rate	0 ,01	0 ,10	0 ,10	0 ,13	0 ,14
Les pancréas	0 ,03	1 ,79	1 ,44	1 ,70	1 ,42
Deux reins	0 ,27	3 ,65	3 ,72	3 ,66	3 ,17
Capsules surrénales	—	0 ,01	—	0 ,02	0 ,04
Glandes circumanales	0 ,01	0 ,17	0 ,08	1 ,90	1 ,58
Oviduct	—	0 ,28	0 ,43	0 ,48	0 ,36
Jaune et membrane de jaune	1 ,94	—	—	—	—
Contenus du canal digestif	—	47 ,97	16 ,66	14 ,39	10 ,22
Perte à l'air pendant l'autopsie	4 ,30		38 ,56	—	30 ,05
	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
Longueur du tronc, depuis le bout du bec jusqu'à celui du coccyx	90	202	188	256	262

Ce tableau nous fait voir que le pigeon de 28 jours est adulte pour la longueur du tronc, pour le poids du corps, pour le sang, le poumon, le cœur et l'appareil urinaire. Il est à peu près adulte

pour le cerveau, le système musculaire et l'appareil digestif; mais il ne l'est pas encore pour la moelle épinière.

Le pigeon de 14 jours est adulte pour le tube digestif, pour les glandes qui en dépendent et pour les reins. Le cerveau n'a que les deux tiers de son développement; la moelle épinière, le tiers; l'appareil respiratoire et circulatoire, la moitié; les os, la moitié aussi, et les muscles, le cinquième seulement.

Sans m'arrêter davantage sur les détails de ce tableau intéressant, mais auquel des circonstances étrangères m'ont empêché de donner tout le développement que j'aurais désiré, je passe aux résultats qu'il nous fournit sur les valeurs corrélatives de la longueur du tronc et du poids du corps, et je les présenterai sous la forme suivante :

TABLEAU N° 51.	ÉTAT NORMAL.	
	Longueur moyenne du tronc.	Poids moyen du cœur.
	millim.	gram.
Pigeons de 14 jours.	195	2,27
Pigeons adultes.	262	4,17

L'on voit par là que, *dans l'état normal, un cœur de 4g,17 correspond à un tronc de 262mm et à un pigeon adulte; tandis qu'un cœur de 2g,27 correspond à un tronc de 195mm et à un pigeon de 14 jours.*

γ. Rapprochant maintenant ce résultat du précédent (α), l'on voit que l'effet de l'inanition consiste à soutenir la circulation dans un corps de 262mm, avec un cœur qui, dans l'état normal, n'aurait été destiné qu'à fournir à un corps de 195mm.

Cela ne s'effectue qu'en égalisant les résistances, c'est-à-dire le produit de la masse à transporter par l'espace à parcourir. Et en effet, $\left(\frac{7,06+9,24}{2}\right)(195)$ ne s'écarte pas beaucoup de $4,88\times262$

(voyez tableaux 40 et 50). L'on voit ainsi que le sang a diminué à peu près en raison inverse de l'espace à parcourir.

δ. Appliquons maintenant ces résultats au corps humain pour mieux en apprécier la valeur. Et, à cet effet, remplaçons la longueur du tronc par celle du corps, et admettons que cinq pieds cinq pouces soient la grandeur normale de l'adulte; nous verrons alors :

Que l'effet de l'inanition consiste à soutenir la circulation avec un cœur fait pour un corps de 4 pieds dans un corps de 5 pieds 5 pouces. Or, d'après la table de Buffon, un corps de 4 pieds est celui d'un enfant de 8 ans; d'après Quetelet, c'est celui d'un enfant de 10 ans. Ainsi, pour que la vie pût se continuer, il faudrait que le cœur d'un enfant de 8 à 10 ans pût entretenir la circulation dans le corps d'un adulte. L'on sent que cela est impossible, et l'on conçoit que la mort survienne par simple débilité, sans qu'il soit nécessaire pour l'occasionner d'une lésion dans l'organisation.

L'œdème, que nous avons signalé parmi les symptômes de la fin de l'inanitiation, est en partie l'effet de cette langueur de la circulation. Aussi se montre-t-il en premier lieu dans les endroits les plus éloignés du cœur, c'est-à-dire aux extrémités.

Revenons maintenant à nos autopsies comparées.

Gros vaisseaux. Leur poids baisse dans le rapport de 7 : 5. Je ne puis cependant pas affirmer que ce rapport soit rigoureusement exact, parce que je n'ai pas jugé devoir mettre à la dissection de ces parties la même minutie que j'ai apportée aux organes du corps plus importants par leur volume, afin de prévenir autant que possible l'effet dessiccatif de l'air sur ces derniers.

Ce que je dis ici s'applique également aux articles suivants : tissus fibreux, séreux, glandes du cou, glandes surrénales, glandes circumanales et oviduct. Aussi n'en parlerai-je pas davantage.

Larynx et *trachée-artère.* Ils ont toujours été pesés après l'enlèvement des muscles du larynx, ce qui les réduisait à peu près

à leur tissu cartilagineux. Dans cet état, ils ont offert une perte de poids très-faible, leur perte intégrale proportionnelle n'étant que de 0,214.

Les deux poumons. Ils ont été pesés, soit avec la totalité du sang qu'ils contenaient au moment de la mort[1], soit après les avoir privés de leur excès de sang, soit enfin après les avoir desséchés à l'étuve, étant déjà privés de cet excès de sang. C'est de ces trois manières que nous les indiquons ici. Pour les obtenir dans le second de ces états, on les incisait en tous sens, on les pressait dans un linge fin, mais assez doucement pour n'en exprimer que l'excès de sang; après quoi on les pesait. Ils ont fourni les résultats suivants :

TABLEAU N° 53.	ÉTAT normal.	INANITION.	PERTE intégrale proportionnelle.
	gram.	gram.	
a. Poumons à l'état humide et avec tout leur sang...	4 ,25	3 ,17	0 ,256
b. Poumons à l'état humide et privés de leur excès de sang.....	3 ,17	2 ,46	0 ,224
c. Poumons desséchés à l'étuve après avoir été privés de leur excès de sang	0 ,71	0 ,55	0 ,225

Je ferai sur ce tableau les observations suivantes :

1. La perte intégrale proportionnelle du poumon est singu-

[1]

TABLEAU N° 52.		DEUX POUMONS avec tout leur sang.	
	État normal. Inanition.	État normal.	Inanition.
		gram.	gram.
Pigeons n°	1 et 2.....	4 ,34	3 ,37
——	3 4.....	6 ,85	3 ,60
——	5 6.....	3 ,31	2 ,21
——	7 8.....	4 ,76	3 ,94
——	9 10.....	4 ,77	3 ,61
——	11 12.....	3 ,60	2 ,46
——	13 14.....	3 ,26	2 ,69
——	15 16.....	3 ,28	3 ,37
——	17 18.....	3 ,90	3 ,62
——	19 20.....	4 ,45	2 ,82
	MOYENNE.....	4 ,25	3 ,17

lièrement faible, quand on la compare à la perte moyenne correspondante de tout le corps. Il est assurément remarquable qu'un organe d'une nature aussi rapprochée du tissu cellulaire que celui-là éprouve une perte intégrale proportionnelle si peu considérable.

2. La comparaison des résultats (*a*) et (*b*) nous permet de déduire la quantité de sang à l'état de liberté que contiennent les poumons, soit dans l'état normal, soit dans l'inanition. En calculant la perte intégrale proportionnelle pour cette portion de sang seulement $\left(= \frac{1,08 - 0,71}{1,08} = 0,342\right)$, l'on voit, en la rapprochant de celle relative à la totalité du sang du corps ($= 0,617$), qu'elle s'en éloigne considérablement, et qu'ainsi la destruction de sang qu'entraîne l'inanitiation n'amène pas dans les poumons une diminution de ce liquide proportionnée à celle qui a lieu dans le reste du corps. Il résulte aussi de là, *a fortiori*, que l'asphyxie, qui est pour nous le type de l'état normal, n'occasionne pas chez nos pigeons d'accumulation morbide de sang dans les poumons.

Tube digestif. Passons séparément en revue ses trois subdivisions.

a. La partie supérieure du canal digestif, c'est-à-dire le pharynx, l'œsophage et le jabot, ont pour perte intégrale proportionnelle $\frac{3,68 - 2,42}{3,68} 0,342$.

b. L'estomac pris dans sa totalité perd comme la portion ci-dessus, sa perte intégrale proportionnelle étant $= 0,334$. Mais il est nécessaire de distinguer dans cet organe les deux parties suivantes :

α. La portion charnue, ou le muscle digastrique, séparée de son épiderme intérieur, perd les deux cinquièmes de son poids, sa perte intégrale proportionnelle étant $= 0,397$. C'est là à peu près la perte intégrale proportionnelle du système musculaire dans sa totalité, perte que nous avons trouvée $= 0,423$. Ainsi le muscle digastrique de l'estomac perd comme le reste du système musculaire.

6. L'épiderme épais et corné qui tapisse la cavité de l'estomac, et qui constitue la surface digestive de cet organe, l'épithélium, non-seulement n'a pas perdu du tout, mais au contraire s'est trouvé augmenté de poids dans la proportion de 1,09 : 1,23.

Ce résultat semble répondre d'une manière péremptoire à l'opinion qui admet que l'estomac peut tourner ses forces contre lui-même, et se digérer plus ou moins, puisque, au lieu d'une augmentation, c'est une diminution de poids qu'on aurait observée. Cependant cette augmentation même, constante chez tous les animaux que nous avons comparés, est un fait pour le moins extraordinaire, et qui mérite d'être soigneusement examiné.

J'ai fait à cet égard les observations suivantes :

1. Sur dix-sept de nos autopsies comparées, où j'ai noté minutieusement l'état de l'épithélium, j'ai trouvé que :

Dans huit autopsies normales[1] sur neuf, l'épithélium s'est enlevé entier, et sans se déchirer, de dessus le muscle digastrique; dans la neuvième[2], il s'est déchiré à peine. Dans les neuf cas, il était ferme, épais et consistant, dans la grande cavité de l'estomac; mince, souple, élastique et extensible vers les orifices cardiaque et pylorique.

Sur huit cas d'inanitiation, au contraire, il s'est déchiré en s'enlevant cinq fois[3]; dans les trois autres cas[4], rien n'a été indiqué à cet égard, soit pour, soit contre, dans le détail des autopsies. Dans tous, il a offert la consistance normale dans la grande cavité de l'estomac; dans tous également, vers les orifices cardiaque et pylorique, il était plus ou moins ramolli, gluant, pulpeux et comme gélatineux, tout en conservant cependant la texture membraneuse.

Ainsi l'inanitiation s'accompagne d'un certain degré de ramol-

[1] Pigeons 3e, 5e, 7e, 9e, 11e, 15e, 17e et 19e.
[2] Pigeon 13e.
[3] Pigeons 6e, 12e, 16e, 18e, 20e.
[4] Pigeons 4e, 8e, 10e.

lissement dans la portion mince de l'épithélium, c'est-à-dire vers le cul-de-sac des orifices cardiaque et pylorique. Et, comme ce ramollissement ne saurait être un effet cadavérique, puisqu'on ne l'observe point dans les autopsies d'état normal, il en résulte qu'on doit le considérer comme l'effet naturel de l'inanitiation.

2. Ce ramollissement est dû à l'action des sucs digestifs sur la portion de l'épithélium que sa disposition anatomique et son peu d'épaisseur exposent le plus à l'action de ces sucs. En effet, d'après ce que nous avons vu jusqu'à présent, l'inanitiation a pour résultat de diminuer le poids des différents organes, en opérant leur résorption partielle; mais pour l'épithélium, comme nous l'avons déjà fait remarquer, c'est le contraire qui s'observe, l'inanitiation y amenant une augmentation au lieu d'une diminution de poids.

Cependant en recourant au tableau n° 41, relatif au poids des organes desséchés à l'étuve, l'on découvre que cette augmentation de poids de l'épithélium n'est réellement qu'une augmentation apparente. C'est là, en effet, ce que montre le tableau suivant, qui comprend toutes celles de nos autopsies où, chez le même animal, l'épithélium a été pesé à l'état humide et à l'état sec.

TABLEAU N° 54.			ÉPITHÉLIUM à l'état humide.		ÉPITHÉLIUM à l'état sec.	
	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.	État normal.	Inanition.
			gram.	gram.	gram.	gram.
Pigeons n°	7	et 8.....	1,27	1,70	0,73	0,68
——	11	12.....	0,80	0,86	0,44	0,43
——	19	20.....	1,07	1,31	0,63	0,50
		MOYENNE.....	1,05	1,29	0,60	0,54

Il résulte de ce tableau :

1. Que chez les animaux où, d'après l'état humide, il paraissait

y avoir une augmentation de poids de l'épithélium, dans le rapport de 1,00 : 1,23, il y avait réellement une diminution de poids de cet organe dans la proportion de 1,00 : 0,90.

2. Que l'augmentation en question tenait aux sucs digestifs qui avaient pénétré l'épithélium pendant l'inanitiation, et qu'elle disparaissait pour faire place à la diminution de poids réellement existante, lorsqu'on soumettait cet organe à la dessiccation de l'étuve.

Il découle des résultats numériques ci-dessus, qu'au moment de la mort l'épithélium des animaux inanitiés se trouvait pénétré par les sucs digestifs dans la proportion de 33 p. o/o de son poids réel.

3. D'après les pesées à l'état sec, la perte intégrale proportionnelle de l'épithélium n'étant que de 0,100, par conséquent très-faible et inférieure à celles de presque toutes les autres parties du corps, il est impossible d'admettre que la perte de poids absolue qu'elle représente soit l'effet d'une digestion *héautopeptique* de l'estomac ; car la destruction de tissu qui en serait résultée aurait été beaucoup plus considérable, et, proportion gardée, aurait dû égaler au moins la perte moyenne du corps entier.

4. Ceci nous amène à ne considérer le ramollissement de l'épithélium dans l'inanitiation que comme une pénétration de ce corps par les sucs digestifs, pénétration qui en altère les propriétés de tissu, mais qui n'en opère point la dissolution.

c. Le canal intestinal perd dans une proportion un peu plus forte que l'œsophage et l'estomac, sa perte intégrale proportionnelle étant = 0,424.

Pour des tuniques aussi minces que celles des intestins, une perte de près de moitié de leur poids eût été de nature à entraîner de fréquentes ruptures ou perforations, s'il n'eût été pourvu d'avance à un pareil danger. Le moyen de compensation dans le cas actuel c'est un raccourcissement dans la longueur du tube intestinal.

En effet, sur sept des dix couples de pigeons que nous comparons, ayant mesuré avec beaucoup d'exactitude la longueur du canal intestinal depuis le pylore jusqu'à l'anus, en enlevant préalablement le mésentère, et en évitant tout tiraillement, j'ai trouvé :

TABLEAU N° 55

	État normal	Inanition.
	millim.	millim
Pigeons n° 5 et 6	1,330	650
—— 7 8	1,100	960
—— 9 10	890	690
—— 11 12	1,177	760
—— 15 16	1,148	783
—— 17 18	1,161	929
—— 19 20	1,383	1,028
Somme =	8,189	5,800
Moyenne =	1,170	829

Ainsi par l'inanitiation l'intestin se raccourcit dans le rapport de $\frac{829}{1,170} = 0,709$, c'est-à-dire qu'il diminue des 0,291 de sa longueur première, ce qui explique comment il peut perdre de son poids sans danger de perforation. Mais, et cela est bien probable, si l'on admet qu'il diminue aussi de 0,291 dans sa circonférence, l'on aura pour sa perte en superficie $1,000 - (0,709 \times 0,709) = 0,497$; valeur remarquablement rapprochée de celle que fournit le tableau n° 40, pour sa perte intégrale proportionnelle en poids, savoir : 0,422. Cette coïncidence presque parfaite des résultats de poids et de superficie, en nous prouvant la probabilité de l'hypothèse ci-dessus, nous fait encore mieux comprendre

comment les intestins peuvent perdre de leur poids sans perdre de leur épaisseur et sans amener le danger de perforation.

Glandes du système digestif. Ces glandes sont parmi les parties du corps qui perdent le plus; ainsi :

Le foie; sa perte intégrale proportionnelle = 0,520, c'est-à-dire plus de moitié.

La rate; sa perte intégrale proportionnelle = 0,714, perte presque aussi grande que celle du sang.

Les pancréas; leur perte intégrale proportionnelle = 0,641, c'est-à-dire plus des cinq huitièmes.

Système urinaire. Les reins perdent dans une proportion beaucoup moindre que les organes précédents, leur perte intégrale proportionnelle étant = 0,319. Il est assurément remarquable que le poumon et les reins perdent si peu, tandis que les glandes du système digestif éprouvent une diminution si considérable. Cela dépend probablement de ce que, par la cessation de l'alimentation, ces glandes suspendent en grande partie leurs fonctions, ce qui les rend susceptibles de devenir le siége d'une résorption inanitiale active : tandis que les poumons et les reins continuant comme auparavant l'élaboration et l'élimination, non plus sans doute des produits de la digestion, mais des matériaux assimilés qui rentrent dans la circulation pour subvenir à l'entretien de la vie, ces organes conservent avec bien plus d'intensité leur activité fonctionnelle, et avec elle plus de force pour résister aux déperditions de poids.

Peau et graisse. La peau a été réunie à la totalité de la graisse du corps, et c'est sous ces conditions que la perte intégrale proportionnelle a été trouvée = 0,759.

Cette perte considérable dépendant essentiellement de la graisse, j'ai cherché à séparer celle-ci de la peau par la compression dans une presse entre plusieurs doubles de papier non collé. Cette compression, continuée jusqu'à ce que de nouveaux papiers ne se chargeassent plus de graisse, ayant dû être prolongée pendant un temps considérable, l'espèce d'analyse dont nous par-

lons n'a pu être répétée que deux fois, et a fourni les résultats suivants :

La peau seule a perdu $10^g,03 - 6^g,68$, c'est-à-dire les 0,333 de son poids.

La graisse seule a perdu $38^g,64 - 2^g,60$, c'est-à-dire les 0,933, soit les $\frac{14}{15}$ de son poids. Je crois même que, en général, la disparition de la graisse était encore plus considérable que cela, car le plus souvent on n'en découvrait plus du tout.

Système osseux. Le temps nécessaire pour dépouiller les os de toutes les parties molles qui les entourent amenant toujours plus ou moins de dessiccation à l'air, nous n'établirons les rapports du système osseux que d'après les résultats de l'étuve. Or, la perte intégrale proportionnelle qu'on obtient ainsi $= \frac{19,85 - 16,54}{19,85} = 0,167$.

Il résulte de là que le système osseux n'éprouve qu'une perte très-faible comparativement à celle de la plupart des autres appareils du corps. Et en effet, la nutrition y est tellement lente que les variations de poids ne peuvent s'y opérer qu'après un temps prolongé. Or, chez les animaux que nous comparons, l'inanitiation a entraîné la mort dans un temps trop court pour que la perte du poids pût y devenir considérable. Les animaux à sang froid donneraient peut-être des résultats différents.

Du reste, je rappellerai que les cartilages du larynx et de la trachée nous ont donné une perte intégrale proportionnelle ($= 0,214$) un peu plus forte que celle des os, mais plus faible que celle de la plupart des autres parties du corps.

Système nerveux. Je réunis sous un chef unique le cerveau et la moelle épinière, parce que, dans les autopsies, on n'a pas cherché à les séparer l'un de l'autre avec une parfaite précision.

Un des résultats très-curieux de nos autopsies, c'est de voir, au milieu des pertes de tous les organes, le système nerveux conserver intégralement son poids, ainsi que le montre le tableau suivant :

TABLEAU N° 56.	ÉTAT HUMIDE.		ÉTAT SEC.	
	ÉTAT normal.	INANITION.	ÉTAT normal.	INANITION.
	grammes	grammes	grammes	grammes
Cerveau	2,25	2,25	0,64	0,58
Moelle épinière	0,83	0,77		
Somme	3,08	3,02	0,64	0,58

Ainsi la perte de poids est nulle pour le cerveau et l'est à peu près aussi pour la moelle épinière : en sorte qu'au milieu de la *ruine* générale, le système nerveux conserve la totalité de sa substance ; fait qui doit avoir pour résultat de maintenir autant que possible la force vitale dans son état d'intégrité au travers des différentes influences de régime auxquelles le corps peut être soumis.

Les yeux. Ils nous fournissent un autre exemple d'organes qui ne diminuent pas sensiblement de poids par l'inanitiation, ainsi qu'on le voit par le tableau suivant, où, avec le poids des yeux, nous indiquons le nombre d'heures écoulées depuis le moment de la mort jusqu'à celui où le poids de ces organes a été déterminé.

TABLEAU N° 57.			ÉTAT NORMAL.		INANITION.	
			TEMPS depuis la mort.	POIDS des deux yeux.	TEMPS depuis la mort.	POIDS des deux yeux.
	État normal.	Inanition.				
				grammes		grammes
Pigeons	1	2	—	—	2h,53′	2,59
Idem	3	4	18h,52′	2,39	5, 7	2,63
Idem	5	6	13,26	2,33	5,45	2,32
Idem	7	8	8,39	2,72	6,35	2,72
Idem	9	10	4,44	2,34	8,12	2,67
Idem	11	12	6,37	2,13	—	—
Idem	15	16	—	—	8 —	2,23
Idem	17	18	24,14	2,64	11,14	2,46
Idem	//	21	—	—	1,17	2,94
Idem	//	22	—	—	5,00	2,47
Moyenne			12,45	2,43	6,00	2,56

L'on voit qu'au lieu d'être plus fort, le poids des yeux dans

l'état normal s'est trouvé plus faible que dans l'état d'inanition. Mais cela provient de ce que, dans le premier cas, les pesées ont été faites en moyenne près de sept heures plus tard que dans le le second. Or, on sait que les yeux deviennent flasques, c'est-à-dire qu'ils perdent une portion de leur poids déjà fort peu d'instants après la mort.

C'est là certainement un fait de nutrition très-remarquable que celui d'organes perdant aussi facilement après la mort, et qui, pendant l'inanitiation, conservent cependant tous les liquides dont ils sont pénétrés; tandis que les organes les plus solides du corps perdent souvent une portion très-considérable de leur poids.

Les résultats de l'étuve n'indiquent pour les parties solides de l'œil qu'une différence à peu près insignifiante.

Récapitulation. En récapitulant les différents résultats que nous avons obtenus sur la valeur tant absolue que proportionnelle de la perte intégrale, nous en formerons les tableaux ci-après.

a. Perte intégrale proportionnelle. Elle se récapitule comme suit :

TABLEAU N° 58.

PARTIES QUI PERDENT PLUS QUE LA MOYENNE 0,400.		PARTIES QUI PERDENT MOINS QUE LA MOYENNE 0,400.	
	Perte intégrale proportionnelle.		Perte intégrale proportionnelle.
Graisse	0,933	Estomac	0,397
Sang [1]	0,750	Pharynx, œsophage	0,342
Rate	0,714	Peau	0,333
Pancréas	0,641	Reins	0,319
Foie	0,520	Appareil respiratoire	0,222
Cœur	0,448	Système osseux	0,167
Intestins	0,424	Yeux	0,100
Muscles locomoteurs	0,423	Système nerveux	0,019

[1] La place qu'occupe le sang a été fixée, d'après la remarque que nous avons faite précédemment, quant à son atténuation. (Voy. page 509.)

b. La *perte intégrale absolue* peut se récapituler comme suit :

TABLEAU N° 59.

			PERTE INTÉGRALE absolue.
			grammes
1. Éléments du sang, savoir :			
Sang		grammes 7,86	
Système musculaire, savoir :			
Muscles locomoteurs	grammes 66,32		
Cœur	1,87	74,63	98,36
Appareil musculaire de la digestion	6,44		
Organes divers, savoir :			
Système glandulaire abdominal	7,46		
Appareil pulmonaire	0,86	15,87	
Peau [1]	5,64		
Autres parties	1,91		
2. Système osseux			5,34
3. Graisse [1]			38,47
Perte intégrale absolue [2]			142,17

Au moyen de cette perte de 142g,17, on formera la bile, la

[1] Nombres calculés d'après la valeur de la perte intégrale proportionnelle obtenue dans les pages précédentes.

[2] A la perte intégrale absolue ci-dessus, en ajoutant 4,98 pour la différence du contenu des intestins entre l'état normal et l'inanition, l'on retrouve, à très-peu près, la totalité de la différence qui existe entre le poids moyen du pigeon asphyxié et le poids final moyen du pigeon inanitié (tableau n° 40), savoir : 147gram.15 au lieu de 149gram.34. Le reste de la différence correspond en grande partie à quelque inégalité dans la perte à l'air pendant l'autopsie.

matière urinaire, l'acide carbonique et l'eau, dans lesquels, en définitive, se résout la perte de poids du corps.

Ce tableau nous fait voir qu'abstraction faite de la graisse, c'est le système musculaire qui supporte la presque totalité de la perte de poids du corps; en sorte que, si la faculté locomotrice a été donnée à l'animal principalement en vue de son alimentation, dans le cas d'alimentation empêchée, ce sont les organes locomoteurs eux-mêmes qui servent surtout à le sustenter.

DEUXIÈME PARTIE.

DES EFFETS DE L'INANITIATION SUR LA CHALEUR ANIMALE.

Dans la première partie de ce mémoire, nous nous sommes occupés des rapports qui existent entre l'inanitiation et le poids du corps, et nous avons cherché à établir les lois qui les régissent. Dans cette seconde partie, c'est l'influence de l'inanitiation sur la chaleur animale que nous allons étudier, mais en nous occupant d'abord de la chaleur dans l'alimentation normale.

A. DE LA CHALEUR ANIMALE PENDANT L'ALIMENTATION NORMALE.

Chez les animaux à sang chaud, la chaleur animale a été considérée comme toujours uniforme et comme se maintenant à un point du thermomètre dont elle ne s'écartait en quelque sorte pas. De longues recherches ont même été faites pour s'assurer si la chaleur de telle espèce était d'une fraction de degré plus haute ou plus basse que tel ou tel point. Mais le fait est, d'après mes observations, que chez un même animal la chaleur normale varie sensiblement selon les différentes circonstances dans les-

quelles il se trouve placé, et qu'un degré parfaitement fixe et précis pour chaque espèce n'existe pas.

Ces variations toutefois sont pour la plupart passagères, et paraissent tenir à des influences accidentelles, telles que la chaleur ambiante, les grands mouvements, etc. Mais il existe dans l'état normal une variation régulière fort importante dont nous allons nous occuper; c'est celle que j'appellerai l'*oscillation diurne* de la chaleur animale.

DE L'OSCILLATION DIURNE DE LA CHALEUR ANIMALE.

Cette oscillation diurne consiste dans un mouvement périodique et quotidien de la chaleur animale, au moyen duquel celle-ci s'abaisse pendant la nuit et se relève ensuite pendant le jour. Je l'ai reconnue en étudiant la chaleur animale à différentes époques de la journée; et, une fois constatée, je n'ai épargné ni persévérance ni soins pour la mesurer avec exactitude au moyen d'observations précises et multipliées [1].

Mes résultats ont été déduits de six cents observations de chaleur animale, dont moitié à midi et moitié à minuit, représentant par conséquent trois cents jours d'observations. Elles ont été fournies par vingt animaux différents, et ont été faites de la manière suivante :

VINGT-DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Vingt pigeons adultes et dans l'état normal de l'alimentation ont été soumis, chacun pendant un certain nombre de jours con-

[1] Quand j'eus fait à peu près la moitié de mes observations, je lus, en 1831 je crois, une note à ce sujet à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève; mais je ne l'ai point fait imprimer dans la collection de ses Mémoires, ayant voulu, avant de rien publier, multiplier encore davantage les observations et ne point les séparer du reste de mon travail. Je ne voulais que prendre date.

sécutifs de cette alimentation, à l'observation de la chaleur animale aux heures de midi et de minuit. Ces observations se faisaient comme suit :

1. L'on cherchait, en général, que les animaux fussent en pleine digestion pour l'heure des observations, et l'on s'en assurait par la présence d'une certaine quantité de blé dans leur jabot lors des prises de chaleur.

2. La chaleur se prenait avec un thermomètre centigrade à petite boule. J'ai eu le rare bonheur de pouvoir faire toutes mes observations (comme du reste toutes celles de ce Mémoire) avec un seul et même instrument, que j'ai prié M. Gourdon, constructeur des thermomètres de l'observatoire de Genève, de comparer à son propre étalon.

3. La chaleur animale se prenait dans le cloaque, en enfonçant la boule du thermomètre de un à deux centimètres de profondeur. Chaque prise de chaleur durait exactement cinq minutes; c'était plus qu'il n'en fallait pour que le thermomètre arrivât au maximum, et y restât stationnaire.

4. Dans la plupart de ces séries d'observations, j'ai déterminé par des séries correspondantes les variations de température de la chambre qu'habitaient les animaux, afin de savoir si l'oscillation diurne de la chaleur animale était ou non en rapport avec les variations de l'air ambiant. Ces variations de température de la chambre étant très-minimes, pour abréger, je n'en indiquerai que la moyenne relative à chaque cas particulier.

5. Pour obtenir la chaleur animale correspondante aux deux périodes du jour et de la nuit, j'ai choisi pour époque des observations les heures de midi et de minuit, comme celles dans lesquelles les influences diurne et nocturne devaient se trouver aussi développées que possible. C'est donc autour de ces heures-là qu'oscillaient, autant que le permettait leur multiplicité, toutes les observations journalières; et la moyenne de l'heure de ces observations pour chaque série individuelle indiquera jusqu'à quel point l'on s'en est approché.

Le résultat de chacune de ces observations est consigné dans le tableau n° 60 ci-après:

TABLEAU N° 60. OSCILLATION DIURNE DE LA CHA

	PIGEON 5°.		PIGEON 6°.		PIGEON 7°.		PIGEON 8°.		PIGEON 9°.		PIGEON 10°.		PIGEON 11°		PIGEON 12	
	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINU
1er jour.....	42°,2	41°,5	42°,0	41°,4	41°,5	40°,5	41°,1	40°,6	42°,0	41°,5	41°,8	41°,4	42°,0	41°,5	42°,2	40
2e idem	42 ,1	41 ,5	42 ,3	41 ,5	41 ,8	40 ,7	41 ,3	40 ,6	41 ,8	41 ,7	41 ,7	41 ,3	42 ,0	41 ,5	42 ,4	41
3e idem	42 ,2	41 ,5	42 ,2	41 ,7	41 ,8	41 ,4	41 ,5	41 ,4	41 ,8	41 ,6	41 ,7	41 ,3	41 ,8	41 ,6	42 ,0	41
4e idem	42 ,3	41 ,9	42 ,3	41 ,6	42 ,1	41 ,3	41 ,5	41 ,0	41 ,7	41 ,6	42 ,0	41 ,7	42 ,0	42 ,1	42 ,6	41
5e idem	42 ,3	41 ,9	42 ,0	41 ,9	42 ,0	41 ,0	41 ,5	40 ,5	41 ,8	41 ,5	42 ,2	40 ,5	42 ,3	42 ,2	42 ,5	40
6e idem.	42 ,5	42 ,5	42 ,4	42 ,1	41 ,9	41 ,6	41 ,7	41 ,4	42 ,4	41 ,7	41 ,9	40 ,8	42 ,5	42 ,0	42 ,7	40
7e idem	42 ,7	42 ,5	42 ,5	42 ,2	42 ,5	41 ,4	42 ,0	40 ,8	41 ,7	41 ,6	42 ,5	41 ,0	42 ,6	41 ,5	42 ,5	41
8e idem	"		42 ,5	41 ,8	42 ,0	41 ,5	41 ,7	41 ,2	42 ,2	41 ,8	42 ,3	41 ,7	42 ,8	41 ,6	42 ,7	40
9e idem.	,		42 ,8	42 ,6	42 ,1	41 ,5	41 ,9	41 ,0	42 ,5	41 ,8	42 ,0	41 ,2	42 ,7	41 ,3	42 ,6	40
10e idem.		,			42 ,3	41 ,7	41 ,5	41 ,3	42 ,4	41 ,9	42 ,5	41 ,3	42 ,7	41 ,5	42 ,4	40
11e idem.				,	42 ,5	41 ,7		,	41 ,9	42 ,0	42 ,4	41 ,7	42 ,6	40 ,8	42 ,4	40
12e idem.					42 ,6	42 ,3			42 ,5	42 ,2	42 ,2	41 ,7	43 ,0	41 ,3	42 ,5	41
13e idem.					42 ,6	42 ,2			42 ,6	41 ,7		,	43 ,1	41 ,7	42 ,4	41
14e idem.				"	42 ,5	42 ,1			42 ,3	42 ,0			43 ,0	41 ,5	42 ,4	41
15e idem.				,	42 ,5	42 ,2			42 ,4	42 ,0		,			,	
16e idem.					42 ,5	42 ,3			42 ,0	41 ,8					,	
17e idem.	,				42 ,3	42 ,3		,	42 ,5	41 ,8						,
18e idem.				,	42 ,5	42 ,5	,	,	42 ,5	41 ,9	,	"	,	,	,	
19e idem.	,	,			42 ,7	42 ,1	"	,	42 ,3	42 ,4	"					,
20e idem.				,	,			,	42 ,1	41 ,9		,	,			
21e idem		,		,		,	,	,	42 ,4	41 ,3		,				
22e idem.		,		,	,		,	,	41 ,9	41 ,4						,
23e idem				,	"	,		,	42 ,2	41 ,5	,					
Somme des observations.	296°,3	293°,3	381°,0	376°,2	802°,7	792°,3	415°,7	409°,8	969°,9	960°,6	505°,2	496°,0	595°,1	582°,1	594°,3	572°
Moyenne diurne.....	42 ,3	41 ,9	42 ,3	41 ,8	42 ,2	41 ,7	41 ,6	41 ,0	42 ,2	41 ,8	42 ,1	41 ,3	42 ,5	41 ,6	42 ,5	40
Heures moyennes des observations.....	12h,18	11h,29	12h,45	11h,33	12h,22	12h,19	12h,16	12h,5	12h,34	12h,38	12h,44	12h,37	12h,19	12h,17	12h,6	12h,
Température moyenne de la chambre.....	—	—	—	—	9°,3	9°,5	10°,2	10°,2	9°,2	9°,3	9°,1	9°,5	16°7	16°,9	16°,7	16

LE DANS L'ÉTAT NORMAL DU CORPS.

	PIGEON 15e.		PIGEON 16e.		PIGEON 17e.		PIGEON 18e.		PIGEON 19e.		PIGEON 20e.		PIGEON 21e.		PIGEON 22e.		PIGEON 23e.		PIGEON 24e.	
	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT	MIDI.	MINUIT
	41°,5	40°,9	42°,0	41°,5	42°,0	41°,0	42°,7	42°,0	42°,2	41°,2	41°,9	41°,1	42°,3	40°,7	42°,2	41°,2	41°,9	41°,0	41°,7	41°,5
	41 ,7	41 ,0	42 ,3	42 ,0	41 ,7	41 ,6	42 ,5	42 ,0	42 ,3	41 ,5	41 ,8	41 ,4	42 ,4	40 ,4	42 ,0	41 ,5	42 ,0	40 ,9	42 ,3	41 ,5
	41 ,8	41 ,0	42 ,0	41 ,5	41 ,9	41 ,1	42 ,8	42 ,9	42 ,3	41 ,5	42 ,2	42 ,6	42 ,3	40 ,5	42 ,4	41 ,7	41 ,9	41 ,0	42 ,4	41 ,3
	41 ,7	41 ,5	42 ,1	41 ,8	42 ,3	41 ,6	42 ,5	42 ,0	42 ,5	41 ,8	42 ,3	42 ,3	42 ,1	40 ,9	42 ,1	41 ,5	41 ,7	41 ,0	42 ,4	41 ,6
	41 ,9	41 ,6	42 ,4	41 ,8	42 ,0	41 ,5	42 ,5	42 ,0	42 ,5	41 ,7	42 ,8	42 ,6	42 ,0	40 ,7	42 ,0	41 ,7	41 ,7	41 ,1	42 ,3	41 ,3
	41 ,7	41 ,3	41 ,9	41 ,5	42 ,0	41 ,2	42 ,8	42 ,4	42 ,6	41 ,5	42 ,7	42 ,5	42 ,3	40 ,9	42 ,4	41 ,9	41 ,7	41 ,4	42 ,7	41 ,7
	42 ,4	41 ,4	42 ,0	41 ,7	42 ,0	41 ,4	42 ,7	42 ,0	42 ,6	41 ,6	42 ,8	42 ,4	42 ,3	40 ,5	42 ,2	41 ,7	41 ,8	40 ,9	42 ,1	41 ,5
	42 ,2	41 ,5	42 ,1	41 ,4	42 ,5	41 ,4	42 ,8	42 ,3	42 ,6	41 ,8	42 ,7	41 ,8	41 ,8	41 ,1	42 ,0	42 ,0	41 ,5	40 ,8	42 ,4	41 ,2
	42 ,6	41 ,2	41 ,9	41 ,0	42 ,5	41 ,9	42 ,6	42 ,0	42 ,5	41 ,8	42 ,6	41 ,5	42 ,5	41 ,6	42 ,6	42 ,0	41 ,7	41 ,1	42 ,2	41 ,5
	42 ,8	41 ,5	42 ,5	41 ,8	42 ,0	41 ,8	42 ,7	41 ,9	42 ,7	41 ,5	42 ,8	41 ,3	42 ,4	41 ,1	42 ,3	41 ,4	41 ,8	40 ,8	42 ,3	41 ,2
	42 ,3	41 ,2	42 ,2	41 ,4	42 ,7	41 ,4	42 ,8	42 ,4	42 ,2	41 ,4	42 ,8	41 ,5	42 ,5	41 ,0	42 ,5	42 ,0	41 ,9	41 ,3	42 ,1	41 ,3
	42 ,4	41 ,4	42 ,6	41 ,5	42 ,5	41 ,6	42 ,8	42 ,6	42 ,4	41 ,7	42 ,8	41 ,6	42 ,3	41 ,2	42 ,4	41 ,9	41 ,9	40 ,7	42 ,3	41 ,1
	42 ,3	41 ,4	42 ,1	41 ,4	42 ,1	42 ,0	42 ,8	42 ,3	42 ,3	41 ,5	42, 6	41 ,7	41 ,7	41 ,1	41 ,9	41 ,8	41 ,7	40 ,9	41 ,8	41 ,1
	42 ,9	41 ,0	42 ,9	42 ,0	42 ,6	41 ,4	42 ,9	42 ,1	42 ,7	41 ,5	42 ,7	41 ,5	42 ,1	40 ,8	42 ,1	41 ,8	41 ,6	41 ,4	41 ,8	40 ,9
	"	"					"						41 ,9	41 ,3	42 ,3	41 ,9	41 ,1	40 ,8	41 ,6	40 ,8
		"											41 ,6	40 ,9	42 ,0	41 ,9	41 ,7	41 ,3	41 ,2	40 ,4
	"	"											42 ,1	41 ,5	41 ,7	41 ,6	41 ,8	41 ,4	41 ,4	40 ,8
	"												41 ,7	41 ,1	42 ,0	41 ,8	41 ,4	41 ,0	41 ,1	40 ,8
													41 ,5	40 ,9	41 ,9	41 ,7	41 ,5	40 ,8	41 ,5	41 ,3
			"										41 ,6	41 ,6	42 ,1	41 ,8	41 ,5	41 ,0	41 ,5	40 ,5
															"					
		"																		
	"	"																		
	590°,2	577°,9	590°,4	582°,3	590°,8	580°,9	597°,9	590°,9	594°,4	582°,0	595°,5	585°,7	841°,4	819°,2	843°,1	834°,8	833°,8	820°,0	839°,1	823°,3
	42 ,2	41 ,3	42 ,2	41 ,6	42 ,2	41 ,5	42 ,7	42 ,2	42 ,5	41 ,6	42 ,5	41 ,8	42 ,1	41 ,0	42 ,2	41 ,7	41 ,7	41 ,0	42 ,0	41 ,2
	12h,57	12h,6	12h,10	12h,6	11h,58	12h,2	11h,57	12h,6	11h,58	12h,6	11h,58	12h,6	12h,12	12h,53	12h,8	12h,52	12h,11	12h,53	12h,12	12h,53
	10°,6	10°,7	10°,6	10°,7	10 ,6	10°,7	10°,5	10°,7	10°,6	10°,7	10°,6	10°,7	3°,4	3°,1	3°,4	3°,1	3°,4	3°,1	3°,4	3°,1

Nous allons en présenter ici le résumé, auquel nous ajouterons le poids de chacun de nos animaux, au début et à la fin de la série qui le concerne. Nous en formerons le tableau suivant (n° 61) :

TABLEAU N° 61.	NOMBRE de jours d'observation de chaleur animale.	TEMPÉRATURE de la chambre.		HEURE des observations.		POIDS du corps.		CHALEUR ANIMALE.		
		Midi.	Minuit	Midi.	Minuit.	Poids initial.	Poids final.	Midi.	Minuit	Différence diurne
						gram.	gram.			
5e pigeon....	7	—	—	12h18′	11h29′	347,19	385,39	42°,3	41°,9	0,4
6e *idem*.....	9	—	—	12 45	11 33	318,50	381,38	42,3	41,8	0,5
7e *idem*.....	19	9°,3	9°,5	12 22	12 19	423,21	475,39	42,2	41,7	0,5
8e *idem*.....	10	10,2	10,2	12 16	12 .5	466,65	463,67	41,6	41,0	0,6
9e *idem*.....	23	9,2	9,3	12 34	12 38	360,01	359,43	42,2	41,8	0,4
10e *idem*.....	12	9,1	9,5	12 44	12 37	411,55	401,38	42,1	41,3	0,8
11e *idem*.....	14	16,7	16,9	12 19	12 17	—	—	42,5	41,6	0,9
12e *idem*.....	14	16,7	16,9	12 6	12 10	343,43	299,79	42,5	40,9	1,6
13e *idem*.....	14	16,7	16,9	12 19	12 22	322,00	294,68	42,6	41,7	0,9
14e *idem*.....	14	16,7	16,9	12 12	12 4	—	—	42,4	41,4	1,0
15e *idem*.....	14	10,6	10,7	11 57	12 6	305,43	276,87	42,2	41,3	0,9
16e *idem*.....	14	10,6	10,7	12 10	12 6	309,37	322,84	42,2	41,6	0,6
17e *idem*.	14	10,6	10,7	11 58	12 2	359,17	321,87	42,2	41,5	0,7
18e *idem*.....	14	10,5	10,7	11 57	12 6	359,23	410,38	42,7	42,2	0,5
19e *idem*.....	14	10,6	10,7	11 58	12 6	376,20	399,51	42,5	41,6	0,9
20e *idem*.....	14	10,6	10,7	11 58	12 6	331,20	344,34	42,5	41,8	0,7
21e *idem*.....	20	3,4	3,1	12 12	12 53	454,61	442,50	42,1	41,0	1,1
22e *idem*.....	20	3,4	3,1	12 8	12 52	337,99	374,90	42,2	41,7	0,5
23e *idem*.	20	3,4	3,1	12 11	12 53	350,10	367,00	41,7	41,0	0,7
24e *idem*.....	20	3,4	3,1	12 12	12 53	375,81	418,35	42,0	41,2	0,8
SOMME...	300	181,7	182,7	244,36	245,37	6,551,65	6,739,87	845,0	830,0	15,0

Nous ferons sur ces deux tableaux les observations suivantes :

1. Les conditions générales de ces vingt séries d'expériences ont été :

a. La moyenne des jours d'observation fournis par chaque animal $= \frac{300}{20} = 15$.

b. L'heure moyenne des observations a été :

Pour le jour. . . . . $12^h\ 14'$

Pour la nuit. 12 17

c. La température moyenne de la chambre où étaient renfermés les animaux a été :

Pour midi. . . . . $= 10°,09$

Pour minuit. . . . . $= 10,15$.

Cette température n'a donc en quelque sorte pas varié, et les résultats se trouvent ainsi dégagés de toute espèce d'influence de la température de l'air ambiant.

d. En jugeant du degré de l'alimentation par le poids du corps, je trouve qu'au début et à la fin des séries d'observations le poids moyen de nos animaux a été :

TABLEAU N° 62.	ALIMENTATION NORMALE.	
	POIDS INITIAL.	POIDS FINAL.
	grammes	grammes
Poids moyen du corps.	363,98	374,44

c'est-à-dire que le poids moyen est resté assez sensiblement le même pendant le cours des observations, et que par conséquent l'alimentation a été suffisante.

Il résulte de cet exposé des conditions générales de l'expérience que les séries de midi et de minuit étaient très-exactement comparables entre elles.

2. En prenant la somme des trois cents observations de midi, celle des trois cents observations de minuit (tableau n° 60), et déduisant les moyennes, l'on obtient :

TABLEAU N° 63.	CHALEUR ANIMALE.	
	MIDI.	MINUIT.
Somme des 300 observations.....	12,666°, 4	12,443°, 2
Moyenne générale.....	42, 22	41, 48

ce qui donne, entre la chaleur animale de midi et celle de minuit, une différence moyenne = 0°,74, c'est-à-dire que, par l'effet de la nuit, la chaleur animale s'abaisse de trois quarts de degré. Ce résultat repose sur un nombre d'observations suffisant pour le considérer comme complétement établi, au moins pour cette espèce d'animaux.

3. La tendance à l'abaissement de température pendant la nuit est tellement prononcée que, sur mes trois cents jours d'observations, il n'y en a que cinq où la chaleur de midi ait été inférieure à celle de minuit du même jour, et cela seulement de 0°,4 pour le maximum[1]; et six où la chaleur de midi et celle de minuit aient été égales[2]. Dans les deux cent quatre-vingt-neuf autres jours la chaleur de midi a surpassé celle de minuit. Peu de résultats physiologiques offrent plus de constance que celui-là.

4. La différence de température de l'air ambiant pendant le jour et pendant la nuit ne saurait être la cause de l'oscillation diurne de la chaleur animale; car, comme on peut le voir dans le tableau général n° 60, non-seulement la température moyenne de la chambre n'a varié que de 0°,4 à 0°1 entre midi et minuit, mais encore la différence en plus est en faveur de minuit.

[1]

Pigeons	jours
9°.....	11°
9°.....	19°
11°.....	4°
18°.....	3°
20°.....	3°

[2]

Pigeons	jours
5°.....	6°
7°.....	17°
7°.....	18°
20°.....	1°
21°.....	20°
22°.....	8°

5. L'oscillation diurne est également indépendante de la saison; car, en rangeant dans deux colonnes les séries relatives, d'une part, à l'été et, de l'autre, à l'automne et l'hiver, et prenant la moyenne, on obtient :

Oscillation diurne pendant l'été[1] . . . . . = 0°,90
Oscillation diurne pendant l'automne et l'hiver[2] = 0°,70

Ainsi l'oscillation diurne a été plutôt un peu plus forte pendant l'été que pendant l'hiver, et par conséquent le refroidissement permanent de l'atmosphère n'exerce aucune influence dans sa production.

Ainsi, dans l'état normal, la chaleur animale éprouve toutes les vingt-quatre heures une oscillation régulière, au moyen de laquelle elle s'élève pendant le jour, et s'abaisse pendant la nuit. La différence entre ces deux états est en moyenne = 0°,74; et cette différence ne se rattache ni à une variation dans la température de l'air ambiant entre le jour et la nuit, ni au refroidissement général de l'atmosphère, qui résulte du changement des saisons.

J'ai trouvé intéressant de rechercher jusqu'à quel point l'oscillation diurne de la chaleur était liée à l'état de la respiration. Pour cela, sans doute, il aurait fallu pouvoir examiner si, indépendamment de la question chimique, la respiration présentait aussi, soit dans la fréquence, soit dans le volume des inspirations, une oscillation analogue à celle de la chaleur; mais, ne pouvant m'occuper du volume des inspirations, je me suis borné à la question de fréquence, et j'ai mis tous mes soins à la résoudre. A cet effet, j'ai compté avec la montre à secondes le nombre des respirations par minute chez neuf de nos vingt pigeons ci-dessus, et cela pendant les séries mêmes où je déterminais l'oscillation diurne de la chaleur. Ces prises de respiration ont été faites de la manière suivante :

[1] Pigeons 5e, 6e, 11e, 12e, 13e, 14e.
[2] Pigeons 7e, 8e, 9e, 10e, 15e, 16e, 17e, 18e, 19e, 20e, 21e, 22e, 23e, 24e.

1° La respiration, autant que possible, a été comptée pendant deux minutes consécutives, pour mieux éviter les erreurs; 2° elle n'a été comptée que pendant que l'animal était calme et tranquille, et lorsque aucune cause d'agitation ne l'avait encore dérangé de l'état de repos; 3° ces prises de respiration ont été faites aux heures de midi et de minuit, immédiatement avant la prise de chaleur animale.

RESPIRATION NORMALE A MIDI ET A MINUIT.

TABLEAU N° 64.	11e PIGEON.		12e PIGEON.		13e PIGEON.		14e PIGEON.		15e PIGEON.		16e PIGEON.		18e PIGEON.		20e PIGEON.		22e PIGEON.	
	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.	Midi.	Minuit.
1er jour : respiration en 2 m.	89	60	102	74	46	42	45	42	55	54	48	48	95	84	68	68	100	81
2e *idem*.....	73	66	72	74	40	40	78	54	60	63	66	54	89	78	86	57	98	88
3e *idem*... ...	61	72	62	72	77	63	86	67	48	54	52	64	104	78	72	78	78	92
4e *idem*.....	54	54	88	47	71	66	88	67	49	42	56	66	76	71	72	64	111	106
5e *idem*.....	73	60	89	48	75	72	80	64	44	44	64	71	89	80	80	62	91	91
6e *idem*.....	58	43	83	48	82	63	81	57	44	55	66	50	90	101	84	66	122	103
7e *idem*.....	46	42	61	56	83	73	89	53	70	64	47	58	83	78	85	78	99	94
8e *idem*.....	61	48	62	46	78	70	89	66	66	60	53	45	98	71	81	73	111	96
9e *idem*.....	71	72	57	64	82	69	84	70	66	59	48	46	85	79	64	62	92	96
10e *idem*..	52	57	54	48	75	59	85	72	74	64	50	60	81	69	//	//	//	//
11e *idem*.....	74	56	62	51	78	64	83	76	60	54	56	51	69	89	//	//	//	//
12e *idem*.....	69	43	64	52	97	66	99	77	60	57	68	52	80	79	//	//	//	//
13e *idem*.....	57	54	56	62	76	76	78	65	74	61	54	50	74	70	//	//	//	//
14e *idem*.....	52	64	58	45	62	69	75	76	74	52	59	70	84	79	//	//	//	//
Respiration moyenne en 1 minute.....	32	28	35	28	36	32	41	32	30	28	28	28	43	39	38	34	50	47

Le résultat de ces observations se trouve consigné dans le tableau ci-dessus n° 64; nous en présenterons ici le résumé suivant :

TABLEAU N° 65.	JOURS D'OBSERVATIONS.	RESPIRATION MOYENNE PAR MINUTE. Midi.	Minuit.
11e Pigeon	14	32	28
12e ——	14	35	28
13e ——	14	36	32
14e ——	14	41	32
15e ——	14	30	28
16e ——	14	28	28
18e ——	14	43	39
20e ——	9	38	34
22e ——	9	50	47
Somme	116	333	296
Moyenne	13	37	33

Ces deux tableaux nous présentent le résultat des observations de 116 jours, faites à midi et à minuit, pendant que les animaux qui les fournissaient servaient à la détermination de l'oscillation diurne de la chaleur animale. Nous ferons sur ces résultats les observations suivantes :

1. En prenant la somme et la moyenne de toutes les observations de midi et de minuit, nous aurons :

TABLEAU N° 66.	RESPIRATION PAR MINUTE. Midi.	Minuit.
Somme des observations	$\frac{8,446}{2}$	$\frac{7,505}{2}$
Moyenne générale	36,4	32,3

Ce qui nous montre que les mouvements respiratoires subissent une variation analogue à celle de la chaleur animale, et que cette

variation se fait simultanément et dans le même sens, puisque la respiration se ralentit en même temps que la chaleur s'abaisse, *et vice versa*. En examinant séparément les résultats fournis par chacun des animaux qui concourent à ce tableau, l'on voit que chez aucun d'eux la moyenne de la respiration de minuit n'a surpassé celle de midi. Elles ont été égales une fois.

2. L'oscillation diurne de la respiration a été beaucoup plus prononcée que celle de la chaleur animale; car, en rapprochant l'une de l'autre la valeur de ces deux oscillations chez les neuf mêmes individus, l'on trouve :

TABLEAU N° 67.	MOYENNES DES NEUFS ANIMAUX.	
	Midi.	Minuit
Respiration par minute	36	32
Chaleur animale [1]	42°,41	41°,56

D'où l'on voit que la respiration s'est ralentie dans le rapport de 9 : 8; tandis que la chaleur animale ne s'est abaissée que dans celui de 9 : 8,8 seulement.

3. Quant à la question chimique, je l'ai trouvée résolue depuis longtemps, et d'une manière très-remarquable, par les expériences du docteur Prout sur la variation de la proportion d'acide carbonique dans l'air expiré à différentes époques du jour. Ce chimiste a prouvé que cette proportion est à son maximum

	MIDI.	MINUIT.
Somme des 116 jours d'observations de chaleur animale	4,919°,2	4,821°,9
Moyenne diurne	42 ,41	41 ,56

vers midi et à son minimum vers minuit[1]; et que c'est vers le matin que la proportion d'acide carbonique dans l'air expiré commence à augmenter (Thompson, *Chimie*, t. IV). Il est impossible de voir une confirmation plus complète que celle-là de nos résultats sur l'oscillation diurne de la chaleur animale.

Maintenant, cette moindre production d'acide carbonique et cet abaissement de la chaleur animale pendant la nuit résultent-ils du ralentissement de la respiration, ou ne dépendent-ils pas plutôt de la diminution de l'influence nerveuse sous l'empire de laquelle se font les mouvements respiratoires et le dégagement de la chaleur? C'est cette dernière opinion qui me paraît la plus probable; car, même en respirant 32 fois par minute au lieu de 36, il y a encore bien plus d'oxygène fourni que le corps ne peut en consommer, et, par conséquent, il y aurait possibilité d'amener pendant la nuit la formation de l'acide carbonique et la production de la chaleur animale à l'état normal du jour. Les matériaux sont suffisants, et si la consommation est moindre, c'est que la force qui doit produire ces effets est, en quelque sorte, dans l'état de sommeil.

Du reste, les résultats que nous venons d'exposer sur l'oscillation diurne de la chaleur animale confirment ce que l'on peut apercevoir plus ou moins bien sur soi, et expliquent pourquoi, pendant le sommeil de la nuit, nous avons besoin d'enveloppes plus chaudes et plus nombreuses que celles qui nous suffisent dans l'état de veille.

B. DE LA CHALEUR ANIMALE PENDANT L'INANITIATION.

I. De l'abstinence complète.

Nous venons d'étudier l'oscillation diurne de la chaleur dans l'état normal de l'alimentation : voyons maintenant ce qui se passe pendant l'inanitiation du corps.

[1] Acide carbonique pour cent. { A midi..... 4,10 / A minuit..... 3,30

Pour juger des effets de l'inanitiation sur la chaleur animale, nous avons recherché ce que devenait l'oscillation diurne quand on soumettait les animaux qui devaient la présenter à la privation absolue des aliments et des boissons. Et mieux encore, afin d'avoir des résultats aussi concluants que possible, nous avons choisi pour cette recherche les individus qui venaient de nous servir pour déterminer la valeur de l'oscillation diurne dans l'état normal de l'alimentation. C'est de cette manière qu'a été faite l'expérience suivante :

VINGT-TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Douze pigeons (2^e, 4^e, 6^e, 8^e, 10^e, 12^e, 14^e, 16^e, 18^e, 20^e, 21^e, 22^e) ont été soumis à la privation complète des aliments et des boissons, et sont ainsi restés jusqu'à la mort, laquelle est survenue à une époque qui a varié pour chacun d'eux entre le 6^e et le 18^e jour de l'abstinence. Cette expérience a été accompagnée des circonstances suivantes :

1. De ces douze pigeons, dix avaient déjà servi à la détermination de l'oscillation diurne de la chaleur dans l'alimentation normale, ce qui nous fournissait des résultats exactement comparables entre cette alimentation et l'abstinence complète des aliments. Les deux autres pigeons étaient nouveaux.

2. L'expérience, quant aux circonstances accessoires, a été rendue aussi semblable que possible à la précédente : c'est ainsi que la chaleur a été prise dans le cloaque, à un ou deux centimètres de profondeur, et qu'avec les déterminations de chaleur animale, des observations étaient faites concurremment sur la température de la chambre habitée par les animaux.

3. Enfin les heures choisies pour les observations ont été celles de midi et de minuit, comme pour l'expérience précédente.

Le tableau ci-après, n° 68, présente les observations journa-

lières de chaleur de ces douze animaux, sauf cependant celles qui se rapportent au dernier jour de la vie de chacun d'eux, que nous nous réservons d'examiner isolément plus tard.

TABLEAU N° 68.

OSCILLATION DIURNE DE LA CHI

N. B. On a omis dans ce tableau les

	PIGEON 2e.		PIGEON 4e.		PIGEON 6e.		PIGEON 8e 1.		PIG
	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MI
1er jour	42° 3	—	42° 0	—	42° 8	41° 2	41° 7	39° 0	42
2e *idem*	—	—	41 7	40° 2′	42 5	40 1	41 8	38 6	42
3e *idem*	—	—	42 4	40 0	42 2	40 7	42 0	39 0	42
4e *idem*	—	—	42 3	40 5	42 8	40 5	41 3	38 7	42
5e *idem*	41 7	—	42 3	40 6	41 8	38 4	41 4	37 4	41
6e *idem*	41 8	—	42 0	40 8	41 5	37 9	41 2	37 2	41
7e *idem*	41 5	37° 6	″	″	41 6	37 9	41 0	36 0	41
8e *idem*	41 5	38 7	″	″	42 1	37 9	40 0	35 7	41
9e *idem*	41 5	38 7	″	″	41 7	37 4	″	″	42
10e *idem*	41 5	39 8	″	″	41 0	37 9	″	″	
11e *idem*	42 0	39 2	″	″	41 3	37 7	″	″	
12e *idem*	42 0	37 9	″	″	40 7	37 8	″	″	
13e *idem*	41 8	38 8	″	″	40 5	36 9	″	″	
14e *idem*	42 0	39 7	″	″	40 5	36 4	″	″	
15e *idem*	41 0	39 0	″	″	40 0	36 4	″	″	
16e *idem*	″	″	″	″	39 5	35 0	″	″	
Somme des observations	500 6	349 4	252 7	202 1	662 5	610 1	330 4	301 6	376
Moyenne diurne	41 7	38 8	42 1	40 4	41 4	38 1	41 3	37 7	4
Température moyenne de la chambre	—	—	—	—	16 9	18 0	8 8	9 0	
Heure moyenne des observations	12h 50′	10h 47′	12h 3′	11h 2′	11h 41′	11h 44′	12h 11′	12h 10′	12h

1er jour
2e *idem*
3e *idem*
4e *idem*
5e *idem*
6e *idem*
7e *idem*
8e *idem*
Somme
Moyenne
Heure moy

AIE PENDANT L'INANITIATION DU CORPS.

séri ndividuelle, pour l'examiner à part.

	PIGEON 14e.		PIGEON 16e.		PIGEON 18e.		PIGEON 20e.		PIGEON 21e.		PIGEON 22e.	
	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.	MIDI.	MINUIT.
39	41° 9	40° 5	41° 8	40° 2	43° 0	41° 5	43° 0	40° 7	42° 1	40° 4	42° 1	41° 1
—	41 8	39 2	42 1	39 5	42 7	41 5	42 5	40 9	42 1	38 4	42 0	40 4
37	42 0	39 5	42 5	39 7	42 8	40 5	42 4	40 3	41 7	37 5	41 8	40 2
37	41 3	39 3	42 1	38 8	42 3	39 5	42 3	39 9	41 7	36 7	42 0	40 0
36	41 2	39 1	42 2	37 3	42 2	38 8	42 1	40 4	41 5	36 2	42 4	39 9
36	41 5	37 9	//	//	41 7	38 7	42 1	39 5	41 7	37 8	41 8	39 2
36	41 2	38 2	//	//	41 9	38 3	42 1	38 9	41 0	35 9	41 7	38 7
36	41 0	36 9	//	//	41 5	38 4	41 9	38 7	41 0	35 9	41 7	38 0
34	41 0	36 5	//	//	//	//	41 5	39 4	41 0	35 6	41 5	37 4
	40 9	36 2	//	//	//	//	41 2	35 0	//	//	//	//
	40 8	34 7	//	//	//	//	41 0	33 7	//	//	//	//
	40 8	36 4	//	//	//	//	40 5	32 4	//	//	//	//
	40 6	34 7	//	//	//	//	39 9	31 1	//	//	//	//
	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
99	536 0	489 1	210 7	195 5	338 1	317 2	542 5	490 9	373 8	334 4	377 0	354 9
39	41 2	37 6	42 1	39 1	42 3	39 7	41 7	37 8	41 5	37 2	41 9	39 4
15	13 5	13 8	8 0	7 7	6 7	6 3	4 0	4 4	2 2	2 5	2 2	2 5
15'	12h 10'	12h 21'	12h 2'	12h 1'	12h 7'	12h 13'	12h 12'	12h 31'	12h 8'	12h 32'	12h 16'	12h 40'

.. 42° 5
.. 41 9
.. 41 8
.. 41 4
.. 41 4
.. 40 3
.. 40 7
.. 40 0

.. 330 0
.. 41 3
.. 8h 0' du matin.

Nous ferons sur ce tableau les remarques suivantes :

1. Ces séries d'expériences ont présenté les conditions générales suivantes :

a. Le nombre total des observations a été :

Observations à midi..... = 117
Observations à minuit.... = 112 } = 229.

b. L'heure moyenne des observations a été :

Observations de midi.... = 12^h 10.
Observations de minuit... = 12 2.

c. La température moyenne de la chambre habitée par ces animaux a été :

A midi..... = 8°,6.
A minuit..... = 8 ,7.

Ainsi, sous le point de vue des circonstances concomitantes, les observations de midi et de minuit ont été aussi ressemblantes que possible, ce qui rend leurs résultats parfaitement comparables. Poursuivons donc nos observations.

2. *Chaleur animale à midi.* En prenant la somme et la moyenne de nos 117 observations de chaleur animale à midi, nous trouvons :

TABLEAU N° 69.	CHALEUR ANIMALE à midi.
Somme des 117 observations	4,878°,4
Moyenne	41 ,70

Je ferai sur ce résultat les observations suivantes :

a. Refroidissement inanitial diurne. En comparant cette moyenne avec celle que nous a donnée la somme de nos observations de chaleur animale à midi dans l'alimentation normale (= 42°,22), l'on voit qu'à l'exception du dernier jour de la vie, qui, nous le rappelons, est exclu de toutes ces observations-ci, l'abstinence n'a réellement abaissé la chaleur animale à midi que de 0°,52 ; ainsi, d'une quantité moindre que l'oscillation diurne dans l'état normal.

Nous arrivons au même résultat en rapprochant, non plus les moyennes générales, mais les moyennes individuelles fournies par chacun des dix animaux qui ont servi à la fois dans les deux expériences, et que nous avons exprès choisis pour arriver à des résultats parfaitement comparables. L'on obtient de cette manière les résultats suivants :

TABLEAU N° 70.	CHALEUR ANIMALE A MIDI.										
	6e PIGEON.	8e PIGEON.	10e PIGEON.	12e PIGEON.	14e PIGEON.	16e PIGEON.	18e PIGEON.	20e PIGEON.	21e PIGEON.	22e PIGEON.	SOMME.
Alimentation normale.	42° 3	41° 6	42° 1	42° 5	42° 4	42° 2	42° 7	42° 5	42° 1	42° 2	422° 6
Abstinence complète..	41 4	41 3	41 8	42 0	41 2	42 1	42 3	41 7	41 5	41 9	417 2

La somme des dix résultats de part et d'autre donne pour différence moyenne à midi, entre l'alimentation normale et l'inanitiation, o°,54, c'est-à-dire presque identiquement le même nombre que nous ont donné les sommes de toutes les observations dans les deux séries d'expériences.

b. Quoique la différence moyenne soit peu considérable, cependant l'abaissement progressif de la chaleur par l'abstinence n'en est pas moins positif. Pour s'en assurer, il suffit de diviser chacune des douze séries en trois tiers, autant que possible d'égale durée, et de prendre la moyenne partielle des résultats compris dans les tiers de même nom. L'on obtient ainsi :

TABLEAU N° 71.	CHALEUR ANIMALE A MIDI.	
	Somme.	Moyenne.
1er tiers des douze séries	505°,3	42°,11
2e tiers des douze séries	502 ,4	41 ,87
3e tiers des douze séries	496 ,4	41 ,37
MOYENNE	.....	41 ,78

La chaleur normale pendant le jour étant en moyenne = 42°,22, l'on voit que l'abaissement total résultant de l'inanitiation a été :

Pour le 1er tiers des séries... 0°,11.
Pour le 2e tiers..... 0,35.
Pour le 3e tiers..... 0,85.

D'où l'on voit qu'à mesure que la vie se prolonge, le refroidissement inanitial diurne tend progressivement à augmenter, mais en restant pourtant toujours peu considérable.

3. *Chaleur animale à minuit.* En prenant la somme et la moyenne des 112 observations de chaleur animale à minuit nous avons :

TABLEAU N° 72.	CHALEUR ANIMALE à minuit.
Somme des 112 observations	4,302°,8
Moyenne	38,42

Nous ferons sur ce résultat les observations suivantes :

a. Refroidissement inanitial nocturne. En comparant cette moyenne à celle qui lui correspond dans l'alimentation normale (= 41°,48), nous voyons que la chaleur animale de minuit est de 3°,06 plus basse dans l'inanitiation que dans l'alimentation normale. C'est là ce que nous appellerons le refroidissement inanitial nocturne.

Pour l'heure de midi, l'on se rappelle que le refroidissement inanitial était = 0°,52. Il résulte de là que le rapport de ces deux refroidissements = $\frac{3°,06}{0,52}$ c'est-à-dire que le refroidissement inanitial est en moyenne six fois plus fort pendant la nuit que pendant le jour.

b. Oscillation diurne inanitiale. En comparant la chaleur moyenne de minuit à celle de midi, nous aurons la valeur de l'oscillation diurne pendant l'inanitiation. La différence de ces deux valeurs

$= 41°,70 - 38°,42 = 3°,28$. Or, si l'on se rappelle que, dans l'alimentation normale, l'oscillation diurne $= 0°,74$, l'on verra que l'effet de l'inanitiation consiste à augmenter de 4,5 de fois l'étendue de l'oscillation diurne normale.

c. L'oscillation diurne inanitiale, dont nous venons d'indiquer la moyenne, n'est point uniforme pendant tout le cours de l'expérience. En divisant, comme nous l'avons fait ci-dessus, chacune de nos douze séries par tiers d'égale durée, et en prenant la moyenne des tiers de même nom, nous avons :

TABLEAU N° 73.	CHALEUR ANIMALE À MINUIT.	
	Somme.	Moyenne.
1er tiers des onze séries	438°,4	39°,85
2e tiers des douze séries	464,6	38,72
3e tiers des douze séries	447,9	37,33
MOYENNE		38,63

Rapprochant maintenant ces nombres de ceux de la chaleur à midi des mêmes animaux, nous aurons pour la valeur successive de l'oscillation diurne inanitiale, savoir :

TABLEAU N° 74.	CHALEUR ANIMALE.		
	MIDI.	MINUIT.	OSCILLATION DIURNE, inanitiale.
1er tiers de séries	42°,1	39°,8	2°,3
2e tiers de séries	41,9	38,7	3,2
3e tiers de séries	41,4	37,3	4,1

Par où l'on voit que l'oscillation inanitiale augmente progressi-

vement à mesure que l'abstinence se prolonge, et qu'elle arrive à être successivement trois, quatre, cinq et même près de six fois aussi grande que l'oscillation diurne dans l'état normal.

d. Ce dernier tableau met en évidence l'un des faits les plus intéressants de tous ceux qui se rapportent à l'histoire de la chaleur animale. C'est celui qui résulte de la comparaison de la chaleur pendant le jour et pendant la nuit, c'est-à-dire pendant l'état de veille et pendant celui de sommeil. L'on voit, en effet, sans aucune modification survenue à l'animal, puisqu'il continue à rester privé de nourriture et de boissons, la chaleur animale osciller régulièrement chaque jour, s'abaissant le soir de quelques degrés, et remontant le matin à l'état où elle était la veille, et osciller avec une amplitude graduellement croissante à mesure que l'abstinence se prolonge et que la faiblesse fait des progrès. Ce fait, d'autant plus curieux qu'il n'est que le développement d'un phénomène presque inaperçu dans l'état normal, prouve avec évidence que les combinaisons d'où résulte le dégagement de la chaleur animale se font essentiellement sous l'influence nerveuse. L'on serait même tenté de présumer que ces combinaisons se forment plus particulièrement sous l'influence du cerveau, puisque cet organe est le siége spécial de la rémittence d'action d'où résulte l'état de veille et celui de sommeil. Mais, comme le reste du système cérébro-spinal éprouve cette rémittence avec un égal degré d'intensité, quoique sans doute d'une manière secondaire seulement, les résultats actuels ne sauraient modifier en rien ceux des expériences d'un autre genre qui transfèrent à la portion dorsale de la moelle épinière la totalité de l'influence excitatrice que possède le cerveau dans la production de la chaleur animale.

Et que cette oscillation tienne à la cause que nous indiquons, c'est ce qui résulte évidemment aussi de ce qu'en continuant le réveil et l'excitation qui résultent de la prise de chaleur, par la prolongation même de cette prise de chaleur, l'on voit insensiblement la température remonter à un point plus ou moins rapproché

de la chaleur de l'état de veille. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un seul exemple, que pendant quatre jours consécutifs, dont le dernier était la veille de la mort, la tourterelle n° 24, pendant son inanitiation, nous a fourni les résultats suivants (en moyenne de $9^h,33$ à $9^h,58$ du soir) :

TABLEAU N° 75.	CHALEUR ANIMALE.			
	6e JOUR.	7e JOUR.	8e JOUR.	9e JOUR.
Après 5′ d'immersion continuée.	36°,6	36°,4	38°,1	34°,4
—— 10′ *idem*.....	37,8	37,6	38,7	34,6
—— 15′ *idem*.....	39,0	38,8	39,0	34,9
—— 20′ *idem*.....	39,2	39,2	39,2	35,5
—— 25′ *idem*.....	39,5	39,0	—	35,7

Ainsi, au bout de 25 minutes, la chaleur montait encore, résultat qui, dans ces expériences, ne s'est jamais observé que pendant le refroidissement causé par l'oscillation inanitiale; car dans l'état normal, le thermomètre arrivait de suite au point fixe. Cela dépend évidemment d'un rétablissement progressif de la chaleur animale, par la cessation de la cause (le sommeil) qui avait amené le refroidissement[1].

Après avoir déterminé l'état de la chaleur animale aux points culminants du jour et de la nuit, c'est-à-dire à midi et à minuit; voyons maintenant ce qu'il est dans d'autres parties de la journée, et recherchons si les effets que nous venons de rapporter attendent jusqu'à ces heures-là pour se développer.

Chaleur animale dans la matinée (tableau n° 76).

[1] Il faut se rappeler que toutes les expériences de ce Mémoire ont été faites avec le même thermomètre, dont la boule était très-petite, et qu'ainsi toute cause de variation relative dépendant de l'instrument se trouve nécessairement éliminée.

N. B. L'on a omis dans ce tableau le

TABLEAU N° 76.

	DANS LA MATINÉE.							
	8e pigeon.	32e pigeon.	33e pigeon.	34e pigeon.	29e tourterelle.	10e tourterelle.	13e tourterelle.	14 tour rel
1er jour	42°,5	42°,1	42°,1	41°,6	42°,7	42°,5	42°,5	42
2e *idem*	41 ,9	41 ,5	41 ,7	41 ,5	42 ,6	41 ,5	41 ,0	42
3e *idem*	41 ,8	41 ,0	41 ,5	41 ,5	42 ,5	42 ,7	40 ,0	41
4e *idem*	41 ,4	41 ,8	41 ,8	41 ,5	42 ,5	42 ,3	38 ,2	42
5e *idem*	41 ,4	41 ,5	41 ,2	41 ,0	42 ,5	41 ,5	37 ,7	41
6e *idem*	40 ,3	42 ,0	40 ,8	40 ,9	43 ,1	41 ,5	//	42
7e *idem*	40 ,7	41 ,7	41 ,2	40 ,8	42 ,5	40 ,9	//	41
8e *idem*	40 ,0	41 ,5	41 ,0	40 ,1	42 ,6	41 ,3	//	41
9e *idem*	//	41 ,5	40 ,7	39 ,5	41 ,6	41 ,0	//	41
10e *idem*	//	41 ,5	//	//	42 ,3	39 ,8	//	41
11e *idem*	//	41 ,0	//	//	41 ,7	//	//	40
12e *idem*	//	41 ,2	//	//	41 ,7	//	//	
13e *idem*	//	41 ,0	//		41 ,0	//	//	
14e *idem*	//	40 ,7	//	//	41 ,5	//	//	
15e *idem*	//	41 ,0	//	//	41 ,3	//	//	
16e *idem*	//	40 ,5	//	//	41 ,7	//	//	
17e *idem*	//	40 ,0	//	//	40 ,5	//	//	
18e *idem*	//	39 ,0	//	//	40 ,0	//	//	
Somme des observations	330 ,0	740 ,5	372 ,0	368 ,4	754 ,3	415 ,0	199 ,4	458
Moyenne diurne	41 ,25	41 ,14	41 ,33	40 ,93	41 ,91	41 ,50	39 ,88	41
Heure moyenne des observations.	8h 0′	7h 36′	7h 26′	7h 10′	7h 31′	4h 44′	6h 57′	7
Date du 1er jour des observations.	23 nov.	20 août.	18 août.	18 août.	3 avril.	24 janv.	12 févr.	7 r

E CELLES DE MIDI ET DE MINUIT.

individuelle pour l'examiner à part.

NIMALE.

DANS L'APRÈS-MIDI.									DANS LA SOIRÉE.
18° tourte-relle.	19° tourte-relle.	20° tourte-relle.	28° tourte-relle.	25° pigeon.	26° pigeon.	27° pigeon.	29° pigeon.	30° pigeon.	7° tourterelle.
42°,3	42°,9	42°,8	42°,0	42°,5	41,9	42°,5	42°,3	42°,0	41°,0
40,0	41,0	42,0	41,8	42,0	42,0	42,7	40,6	42,1	40,4
40,0	41,0	41,5	42,0	41,1	41,4	42,3	40,5	41,5	39,0
40,7	40,0	41,9	42,0	41,8	41,0	42,0	40,5	40,7	38,7
//	40,8	41,8	41,8	41,3	41,2	42,3	41,4	41,0	36,9
//	//	40,0	41,8	41,5	41,0	41,9	39,5	39,0	,
//	//	40,1	41,7	41,0	40,5	41,5	38,9	//	//
//	//	38,2	41,2	41,3	40,7	41,7	//	//	//
//	//	//	43,0	40,3	40,5	41,5	//	//	//
//	//	//	41,1	39,0	39,7	41,7	//	//	//
//	//	//	41,9	//	37,9	41,8	//	//	//
//	//	//	40,1	//	//	41,5	//	//	//
//	//	//	40,0	//	//	40,8	//	//	//
//	//	//	39,5	//	//	39,2	//	//	//
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
//	//	//	//	//	//	//	//	//	,
//	//	//	//	//	//	//	//	//	.
163,0	205,7	328,3	579,9	411,8	447,8	583,4	283,7	246,3	196,0
40,75	41,14	41,04	41,42	41,18	40,71	41,68	40,53	41,06	39,2
Entre 4 et 5h	4h 15′	3h 24′	6h 59′	Entre 4 et 5h	4h 17′	4h 26′	7h 0′	5h 25′	8h 19′
31 déc.	18 janv.	7 févr.	24 mars	8 janv.	2 févr.	3 mars.	20 févr.	23 févr.	17 décembre.

VINGT-QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

Une tourterelle (n° 29) et quatre pigeons (nos 8, 32, 33, 34) ont été inanitiés par la privation des aliments et des boissons. Leur vie s'est prolongée, pour la tourterelle, pendant 19 jours; pour les pigeons, pendant 19 jours, 10 jours, 10 jours et 9 jours. La prise de chaleur s'est effectuée en moyenne à 7 heures 33 minutes du matin. Les résultats qu'ils nous ont fournis, à l'exception cependant de ceux du dernier jour de la vie, se trouvent consignés dans le tableau n° 76.

En divisant ces résultats par tiers de série, comme nous l'avous fait précédemment, et en prenant la somme et la moyenne des tiers de même nom, nous en formerons le tableau suivant :

TABLEAU N° 77.	CHALEUR ANIMALE. À 7 HEURES 1/2 DU MATIN.	
	Somme.	Moyenne.
1er tiers des cinq séries	209°,9	41°,98
2e tiers des cinq séries	207 ,3	41 ,46
3e tiers des cinq séries	202 ,8	40 ,56
MOYENNE		41 ,33

Nous ferons sur ce tableau les observations suivantes :

1 La moyenne générale de ces cinq séries nous donne, pour la chaleur animale, de sept heures et demie du matin, 41°,33. En rapprochant cette moyenne de celle des trois tiers de nos séries de midi, que nous avons trouvée = 41°,78, nous voyons qu'elle n'en diffère que de 0°,45. Ainsi dès sept heures et demie du matin la chaleur est peu à près la même qu'à midi, et la réascension diurne est déjà presque entièrement effectuée [1].

[1] Le pigeon n° 8 ayant fourni simultanément, avec la série actuelle, une série d'observations pour l'heure de midi (voyez tableau n° 68), la comparaison, jour par jour, de ces deux séries prouve combien la chaleur animale diffère peu à ces heures-là.

2. En comparant les uns aux autres les tiers de même nom, dans nos séries actuelles et dans celles de midi, nous voyons que la différence entre les deux premiers tiers = 0°,1; entre les seconds tiers = 0°,4; entre les deux derniers tiers 0°,8. Ainsi la différence va croissant à mesure que l'expérience avance. D'où il résulte que, plus l'animal s'affaiblit par la prolongation de l'inanition, et plus la réaction qui doit faire remonter la chaleur au taux de midi tarde à s'effectuer.

3. La chaleur de sept heures et demie du matin étant à fort peu de chose près la même que celle de midi, il en résulte qu'elle diffère complétement de celle de minuit.

Chaleur animale dans l'après-midi. (Tableau n° 76.)

VINGT-CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

Quinze animaux (5 pigeons, n^os^ 25, 26, 27, 29 et 30; et 10 tourterelles, n^os^ 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 et 28) ont été soumis à la privation complète des aliments et des boissons. Ils ont vécu collectivement 147 jours, soit en moyenne 9, 8 de jour. La prise de chaleur s'est effectuée, pour chacun d'eux, entre 3^h^,34 et 7,36 de l'après-midi, et, en moyenne, à 5^h^,40, après midi.

En divisant les résultats individuels par tiers de série, et prenant les sommes et les moyennes des tiers de même nom, nous aurons:

TABLEAU N° 78.	CHALEUR ANIMALE À 5^h^ 40′ DE L'APRÈS-MIDI.	
	Somme.	Moyenne.
1^er^ tiers des quinze séries	632°,0	42°,13
2^e^ *idem*	619,1	41,27
3^e^ *idem*	602,4	40,16
MOYENNE		41,19

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. Ces quinze animaux donnent, pour la chaleur moyenne, entre 5 et 6 heures de l'après-midi, 41°,19. La chaleur moyenne correspondante de nos séries de midi étant = 41°,78, l'on voit que, dès l'heure ci-dessus, l'abaissement nocturne commence à s'effectuer.

2. En comparant les tiers de même nom, dans nos séries actuelles et dans celles de midi, tableau n° 71, l'on trouve la différence entre les deux premiers tiers 0,0; entre les deux tiers suivants = 0,6; entre les deux derniers tiers = 1°,2. Ainsi, comme nous l'avons déjà observé pour les séries du matin, plus la faiblesse qui résulte de la prolongation de l'inanition augmente, et plus l'abaissement nocturne commence à une époque rapprochée de midi.

Chaleur animale dans la soirée (tableau n° 76).

VINGT-SIXIÈME EXPÉRIENCE.

Une tourterelle (n° 7), soumise à la privation complète des aliments et des boissons, a été inanitiée au bout de six jours. En moyenne, sa chaleur a été prise à $8^h,19$ du soir.

Divisant les résultats journaliers par tiers de série, et prenant les moyennes, nous en formerons le tableau suivant.

TABLEAU N° 79.	CHALEUR ANIMALE à 8h 19′ du soir.
	Moyenne.
1er tiers de série	40°,7
2e tiers de série	39 ,0
3e tiers de série	37 ,8
MOYENNE	39 ,17

Je ferai à cet égard les observations suivantes :

1. La moyenne de cette série (= 39°17) comparée aux

moyennes correspondantes des séries de midi et de minuit, savoir $\left\{\begin{array}{l}\text{midi..} = 41^\circ{,}78 \\ \text{minuit} = 38^\circ{,}63\end{array}\right\}$, montre que la chaleur de 8 à 9 heures du soir s'était déjà abaissée, relativement à celle de midi, de 2°,61; en sorte qu'elle ne différait plus de celle de minuit que de 0°,54, et que l'abaissement nocturne s'était déjà, en très-grande partie, effectué.

2. La comparaison de nos tiers de séries avec les moyennes des tiers de même nom des séries analogues de minuit (39°,8, 38°7, 37°,3) confirme cette conclusion-là, et fait voir que, dans tout le cours de l'expérience, la chaleur de 8 à 9 heures du soir différait à peine de celle de minuit. Je ferai observer aussi, qu'en conformité de ce que nous avons dejà vu précédemment, nos deux derniers tiers de série se rapprochent plus de la chaleur de minuit que le premier.

Ainsi, en résumant d'une manière sommaire ce que nous venons d'établir dans les pages précédentes :

1. L'oscillation diurne et moyenne de la chaleur animale, qui, dans l'état normal de l'alimentation, est = 0°,74, devient, dans l'inanitiation, = 3°,28.

2. L'oscillation diurne inanitiale est d'autant plus étendue, que l'inanition a déjà fait plus de progrès; de telle façon que l'oscillation de la fin de l'expérience est à peu près double de celle du début.

3. Les heures de midi et de minuit sont bien, sans doute, les époques du maximum et du minimum de la chaleur animale, mais l'oscillation diurne n'attend pas ces heures-là pour se développer. C'est ainsi que, pendant les différentes parties du jour proprement dit, la chaleur se rapproche plus ou moins de celle de midi ; tandis que, pendant la nuit, elle se rapproche de celle de minuit.

4. Enfin, dans le cours d'une même expérience, l'abaissement nocturne se prolonge d'autant plus avant dans la matinée, et commence d'autant plus tôt dans l'après-midi, que l'animal se trouve déjà plus affaibli par la durée préalable de l'inanitiation.

II. De l'alimentation insuffisante.

Nous venons d'étudier la chaleur animale pendant l'abstinence complète des aliments; voyons maintenant ce qu'elle devient dans l'alimentation insuffisante :

Je n'ai pas, pour ce genre d'alimentation, de séries d'observations à midi et à minuit; celles que j'ai à rapporter se classent parmi les observations de chaleur animale dans l'après-midi.

VINGT-SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

Trois tourterelles (n^os 11, 25 et 26) ont été inanitiées par une alimentation insuffisante, dont on trouvera le détail dans la première partie de ce Mémoire. (Tabl. 30^e.) Elles ont vécu collectivement 39 $\frac{1}{3}$ de jours, et l'heure moyenne de la prise de chaleur a été $6^h34'$ de l'après-midi. Elles nous ont fourni les résultats suivants, que nous continuerons à présenter sous forme de tiers de série, en faisant abstraction du dernier jour de la vie, comme nous l'avons fait jusqu'à présent [1].

[1] Je joins ici le détail journalier des prises de température, abstraction faite du dernier jour, afin qu'on puisse juger de la variabilité de la chaleur animale dans ce mode d'inanitiation.

TABLEAU N° 80.	TOURTERELLE 11^e.	TOURTERELLE 25^e.	TOURTERELLE 26^e.
1^er jour (début)	42°0	41°5	41°5
2^e	42 0	41 3	42 5
3^e	41 5	42 0	42 7
4^e	42 0	42 3	42 7
5^e	40 3	41 7	42 5
6^e	39 5	41 5	42 2
7^e	.....	43 3	42 5
8^e	.....	42 0	40 5
9^e	.....	42 2	41 5
10^e	.....	42 0	40 3
11^e	.....	41 7	38 4
12^e	.....	40 5	38 8
13^e	.....	40 5	42 4
14^e	.....	40 5	40 8
15^e	.....	39 8	38 7
16^e	.....	39 5	39 3
17^e	.....	.....	39 7
Heure moyenne de la prise de chaleur	7^h 20' p. m.	7^h 23' p. m.	5^h 0' p. m.

TABLEAU N° 81.	CHALEUR ANIMALE à 6h 34′ de l'après-midi.	
	Somme.	Moyenne.
1er tiers des trois séries.....	126°,2	42°,07
2e tiers des trois séries.....	124 ,5	41 ,50
3e tiers des trois séries.....	120 ,0	40 ,00
Moyenne.....	.....	41 ,19

Je ferai sur ces résultats les observations suivantes :

1. La chaleur moyenne de ces trois séries diffère suffisamment de la chaleur correspondante de midi, dans nos douze séries d'abstinence (= 41°,78), pour regarder l'abaissement nocturne comme ayant déjà sensiblement commencé à l'heure moyenne de ces observations, c'est-à-dire à $6^h\frac{1}{2}$ du soir. Du reste, cette moyenne est identiquement la même que celle de $5^h40'$ du soir de nos expériences précédentes. (Tableau n° 78.)

2. L'abaissement de la chaleur animale ne s'est pas fait d'une manière progressive et régulière, comme dans l'abstinence complète des aliments. Il a été interrompu, dans le courant des expériences, par une réaction d'un ou de plusieurs jours de durée consécutive, au moyen de laquelle la chaleur animale remontait même au-dessus de son niveau normal.

3. Quoique l'abaissement nocturne n'existât presque pas encore à l'heure des prises de chaleur, cependant il se développait plus tard. Ainsi, par exemple : chez la tourterelle n° 26, ayant pris, le 17e jour de l'inanitiation, la chaleur animale tout à la fois dans l'après-midi et aux environs de minuit, j'ai trouvé :

A $4^h40'$ de l'après-midi..... 39°,7.
A $11^h55'$ du soir..... 37°,4.

Dans l'après-midi du lendemain (le jour de la mort), la chaleur étant remontée à 40°,9, ce refroidissement de $11^h55'$ du soir est

un abaissement nocturne aussi complétement caractérisé que possible.

Ainsi, sauf la réaction ascensionnelle signalée plus haut, l'alimentation insuffisante offre, quant à la chaleur animale, des résultats identiques avec ceux de l'abstinence complète. C'est là ce que nous avions déjà vu, à l'occasion de la perte de poids; et ce résultat est digne d'intérêt.

III. Du dernier jour de la vie dans l'inanitiation.

Dans les études de chaleur animale que nous venons de faire, nous avons omis, à dessein, de nous occuper du dernier jour de nos séries, afin de le considérer en particulier, et de rechercher le mécanisme par lequel l'inanition amène la mort. C'est cet examen que nous allons entreprendre maintenant; et, à cet effet, nous allons présenter, dans les huit tableaux suivants, les résultats que nous avons obtenus sur la chaleur animale pendant ce dernier jour. Nous joindrons à ces tableaux les résultats relatifs au premier, à l'antépénultième et au pénultième jour de chaque série expérimentale, afin de mieux saisir les rapports qui existent entre le dernier jour de la vie et ceux qui le précèdent. L'on trouvera ci-annexés les huit tableaux en question. (Tabl. 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88 et 89.)

TABLEAU N° 82.

TABLEAU N° 82.	Pigeon 2°. Midi.	Pigeon 2°. Minuit.	Pigeon 4°. Midi.	Pigeon 4°. Minuit.	Pigeon 6°. Midi.	Pigeon 6°. Minuit.	Pigeon 8°. Midi.	Pigeon 8°. Minuit.	Pigeon 10°. Midi.	Pigeon 10°. Minuit.	Pigeon 12°. Midi.	Pigeon 12°. Minuit.
Premier jour	42°,3	—	42°,0	—	42,8	41,2	41,7	39°,0	42°,5	40°,1	41°,9	39°,2
Jours entre le premier et l'antépénultième (en moyenne 7 j.) — 1er tiers des 7 jours	41,7	—	41,7	40°,2	42,3	39,9	41,9	38,8	42,2	39,8	41,6	37,9
2e tiers des 7 jours	41,6	38°,3	42,4	40,0	41,6	37,8	41,3	38,7	41,9	40,1	42,1	37,1
3e tiers des 7 jours	41,8	38,9	42,3	40,5	40,8	37,2	41,3	37,3	41,5	40,5	42,2	36,5
Antépénultième jour	42,0	39,7	42,3	40,6	40,0	36,4	41,0	36,0	41,5	40,7	42,2	36,2
Pénultième jour	41,0	39,0	42,0	40,8	39,5	35,0	40,0	35,7	41,2	41,1	42,1	34,4
Minuit à 1 heure … 11 à midi	6h,3? ; 8,47 mort acc.	37°,9 ; 3?,8	?h … tr. mort		11h 57	38°,4	?h 36	3?,0				
Dernier jour : Midi à 1 heure … 11 à minuit					11,50 ; 5,45 a. m. mort.	33,6 ; 29,2	12 10 ; ?,0? tr. mort	37,6	12h,1? ; 6,15 mort	39°,0 ; 2?,6	12h,25 ; 7 20 ; 8,?9 mort	34°,4 ; 28,0 ; 25,3
Chaleur finale au moment de la mort	—		—		29°,2		—		26°,6		25°,4	

TABLEAU N° 82.	Pigeon 14°. Midi.	Pigeon 14°. Minuit.	Pigeon 16°. Midi.	Pigeon 16°. Minuit.	Pigeon 18°. Midi.	Pigeon 18°. Minuit.	Pigeon 20°. Midi.	Pigeon 20°. Minuit.	Pigeon 21°. Midi.	Pigeon 21°. Minuit.	Pigeon 22°. Midi.	Pigeon 22°. Minuit.	Moyenne générale. Midi.	Moyenne générale. Minuit.
Premier jour	41°,9	40,5	41°,8	40°,2	43°,0	41,5	43,0	40°,7	42°,1	40°,4	42°,1	41°,1	42°,3	40°,4
Jours entre le premier et l'antépénultième (en moyenne 7 j.) — 1er tiers des 7 jours	41,7	39,3	—	—	42,8	41,0	42,4	40,4	41,9	38,0	41,9	40,3	42,0	39,6
2e tiers des 7 jours	41,2	38,0	—	—	42,3	39,5	42,1	39,4	41,6	36,5	42,2	40,0	41,8	38,7
3e tiers des 7 jours	40,9	35,8	—	—	42,0	38,8	41,2	36,0	41,4	36,9	41,8	3?,0	41,6	37,9
Antépénultième jour	40,8	36,4	42,1	38,8	41,9	38,3	40,5	32,4	41,0	35,9	41,7	38,0	41,4	37,5
Pénultième jour	40,0	34,7	42,2	37,3	41,5	38,4	39,9	31,1	41,0	35,6	41,5	37,4	41,0	36,7
Minuit à 1 heure … 11 à midi														
Dernier jour : Midi à 1 heure … 11 à minuit	12h,12 ; 12,13 ; 2,48 a. m. mort.	38,1 ; 25,0 ; 22,9	12h,05 ; 3,00 tr. mort	35°,4	12h,05 mort	33°,3	12h 08 ; 3,07 mort	20°,7 ; 15,5	12h,03 ; 12,34 a. m. mort	40°,6 ; 25,8	12h,14 ; 12,31 trouvé mort	40°,1		
Chaleur finale au moment de la mort	22°,9		—		33°,3		18°,5		25°,8		—		26°,0	

TABLEAU N° 83.

TABLEAU N° 83.	Pigeon 24°.	Pigeon 25°.	Pigeon 26°.	Pigeon 27°.	Pigeon 28°.	Pigeon 29°.
Premier jour	41°,5	42°,5	41°,9	42°,7	—	42°,3
Antépénultième jour	—	40,4	37,9	40,8	—	39,5
Pénultième jour	—	39,0	37,4	39,2 ; 9h 50' p. m. … 36°6	—	38,9
Minuit à 1 heure … 11 à midi	?h,?5 mort im. 2?,1		?h … 30°,3 ; 10 45 tr. mort	?h,?5 … 33°,7 ; 8,17 mort 2?,2		
Dernier jour : Midi à 1 heure … 11 à minuit		3h,55 … 32°,8 ; 5,?0 tr. mort			5h,0? … 33°,3 ; 9,57 mort im. 26,4	?h,11' … 32°,3 ; ?,11 … 30,8 ; 7,47 mort im 25,7
Chaleur finale au moment de la mort	22°,1	—	—	29°,2	26°,4	25°,7

TABLEAU N° 83.	Pigeon 30°.	Pigeon 31°.	Pigeon 32°.	Pigeon 33°.	Pigeon 34°.	Moyenne générale.
Premier jour	42°,0	42°,3	42°,1	42°,1	41°,6	42°,1
Antépénultième jour	41,0	40,0	40,0	41,0	40,1	40,1
Pénultième jour	39,0	39,8	39,0	40,7	39,5	39,2
Minuit à 1 heure … 11 à midi	1h,33' mort acc. 33°,3	7h,21' … 37°,7	7h,33' … 39°,5	7h,23' … 39°,5	7h,06' … 28°,6 ; 10,41 mort im. 26,5	
Dernier jour : Midi à 1 heure … 11 à minuit		7 20 … 34,6 ; 10,30 mort im. 28,7	7 2? … 36,4 ; 11,33 … 33,6 ; 1,34 a.m. mt imm. 26,5	9,42 … 29,5 ; 11,50 mort. 26,5		
Chaleur finale au moment de la mort	—	28°,7	26°,5	26°,5	26°,5	26°,5

TABLEAU N° 84.

	Premier jour	Antépénultième jour	Pénultième jour	Dernier jour	Chaleur finale au moment de la mort imminente
Tourterelle 1re.	—	—	—	7h45 ...... 27° 0 10 0 m' im'	—
Tourterelle 2e.	—	—	—	[illegible] 3 ...... 3[illegible] 1 7 28 m' im' 21° 3	21° 3
Tourterelle 3e.	—	—	—	2 30 ...... [illegible] 3 30 ...... [illegible] 4 30 ...... 23 2 5 30 m' im' 19° 1	19° 1
Tourterelle 4e.	—	—	—	7 14 m' im' 20° 3	20° 3
Tourterelle 5e.	—	—	6h45' à m. 38° 7 3 25 p. m. 37 6 9 45 p. m. 34 9	3h50' ...... 34 9 9 50 ...... 23 9 10 20 m' im' 22 7	22° 7
Tourterelle 6e.	—	39° 8	40° 0 10h52' p. m. 36° 4	11 0 ...... 26 5 12 0 ...... 25 2 1 15 m' im' 22 3	22° 3
Tourterelle 7e.	41° 0	—	36° 9	7h15' ...... 25° 5 9 43 m' im' 20 7	20° 7
Tourterelle 8e.	42° 0	—	—	7h 3 m' im' 25° 5	25° 5
Tourterelle 9e.	—	—	—	7h23' ...... 37° 1 9 15 ...... 33 9 10 30 ...... 31 3 11 30 ...... 27 6 12 33 ...... 23 4 12 56 m' im' 22 9	22° 9
Tourterelle 10e.	42° 5	41° 0	39° 8	1h3 ...... 28 9 2 21 ...... 26 0 3 0 m' im' 23 1	23° 1
Tourterelle 11e.	42° 0	40° 3	39° 5	7h20 ...... 35° 2 9 52 ...... 25 8	25° 8
Tourterelle 12e.	42° 0	—	—	7h10 ...... 39° 5 1 53 ...... 34° 4 3 0 ...... 28 2 3 [illegible] m' im' 25 1	25° 1
Tourterelle 13e.	42° 5	38 2	37 7	7h32' ...... 33° 9 1 0 a. m. 31 8 4 0 m' im' 22 3	22° 3
Tourterelle 14e.	42° 7	41 1	40 3	6h51 ...... 36° 0 10 26 ...... 29 3 11 51 m' im' 25 0	25° 0
Tourterelle 15e.	42° 2	39 1	37 9	6h10' ...... 28 4 7 58 m' im' 25 3	25° 3
Tourterelle 16e.	42° 5	40 5	38 9	1h31 ...... 35 8 4 55 m' im' 23 9	23° 0
Tourterelle 17e.	43° 4	40 5	40 1	6h26 m' im' 22° 0	22° 9
Moyenne générale.	42° 3	40 1	39 0		23° 0

TABLEAU N° 85.

	Premier jour	Antépénultième jour	Pénultième jour	Dernier jour	Chaleur finale au moment de la mort
Tourterelle 18e.	42° 3	40 7	38 7	8h 0 tr' m'	—
Tourterelle 20e.	42° 8	40 1	38 2	3 48 ...... 36° 2 11 45 tr' m'	—
Tourterelle 21e.	—	—	—	9h 0 ...... 39° 2 4 35 mort.	—
Tourterelle 22e.	—	40° 5		4h16 tr' m'	—
Tourterelle 23e.	—	—	—	5h25 ...... 36° 2 7 46 ...... 30 0 9 25 tr' m'	—
Tourterelle 25e.	41° 5	39 8	39 5	4h30 tr' m'	—
Tourterelle 26e.	41° 5	40 0	39 7	0h 0 ...... 37° 4 10 7 ...... 39 0 4 42 ...... 30 9 10 0 tr' m'	—
Tourterelle 28e.	42° 0	40 0	39 5	10h20' m' ac. 25° 7	—
Tourterelle 29e.	42° 7	40 5	40 0	6h58 m' ac. 39° 0	—
Tourterelle 19e.	42° 9	40 0	40 8	3h47 mort 22° 5	22° 5
Tourterelle 24e.	—	39° 2	35 7 10h15' p. m. 32° 3	3 28 ...... 22 7 5 26 mort. 18 8	18° 8
Tourterelle 27e.	43° 0	—	—	7h35' ...... 37° 9 12 25 mort. 27 0	27° 0
Moyenne générale	42° 3	40 1	39 0		22° 8

U N° 86.	1er LAPIN.	2e LAPIN.	3e LAPIN.	4e LAPIN.	5e LAPIN.	MOYENNE générale.
ur.....	—	39°,1	38°,4	38°,2	37°,9	38°,4
ième jour....	38°,1	38 ,4	37 ,9	—	—	38 ,1
e jour..	37 ,3	—	—	37 ,7	—	37 ,5
uit à 1h....						
1h 2.....						
2 3.....						
3 4.....						
4 5.....						
5 6.....				5h 50' tr. mt.		
6 7.....	6h45' tr. mt.					
7 8.....		8h 0' tr. mt.				
8 9.....						
9 10.....			9h21' 31°,7			
10 11.....						
11 midi....			12 0 mort. 27 ,0			
di à 1h....						
1h 2.....						
2 3.....						
3 4.....						
4 5.....					4h20' tr. mt.	
5 6.....						
6 7.....						
7 8.....						
8 9.....						
9 10.....						
10 11.....						
11 minuit...						
finale au moment mort.....	—	—	27 ,0	—	—	27 ,0

TABLEAU N° 87.	1er cochon d'Inde.	2e cochon d'Inde.	3e cochon d'Inde.	4e cochon d'Inde.	5e cochon d'Inde.
Premier jour	39°,0	38°,7	39°,0	39°,2	39°,0
Antépénultième jour	38 ,8	—	39 ,5	38 ,1	—
Pénultième jour	—	34 ,6	37 ,2	35 ,2	36 ,9
Dernier jour. Minuit à 1h					
1h 2					
2 3					
3 4					
4 5					
5 6					
6 7				7h 0' (tr. mt.	
7 8					
8 9					
9 10					
10 11					
11 midi					
Midi à 1h		12h25' 28°, 1			
1h 2					
2 3					
3 4	4h 0' (tr. mt.				
4 5		4 10 24 , 8	4h49' 37°, 4		4h38' m. im. 22°, 7
5 6					
6 7			6 56 mort.. 28 , 7		
7 8					
8 9					
9 10		9 30 mort.. 20 , 2			
10 11					
11 minuit					
Chaleur finale ou moment de la mort	—	20 ,2	28 ,7	—	22 ,7

TABLEAU N° 88.			1re POULE.			2e POULE.			MOYENNE générale.
Premier jour			42°,4			42°,5			42°,5
Antépénultième jour			—			40 ,6			40 ,6
Pénultième jour			39 ,5			38 ,9			39 ,2
Dernier jour.	Minuit	à 1h							
	1h	2							
	2	3							
	3	4							
	4	5							
	5	6							
	6	7							
	7	8							
	8	9							
	9	10							
	10	11	10h56′	.....	31°,4				
	11	midi	11 41	m.im^{e}.	29 ,0				
	Midi	à 1h							
	1h	2							
	2	3							
	3	4							
	4	5	.....	.....	.....	4h46′	.....	30°,3	
	5	6	.....	.....	.....	5 10	mort.	27 ,3	
	6	7							
	7	8							
	8	9							
	9	10							
	10	11							
	11	minuit							
Chaleur finale au moment de la mort			29 ,0			27 ,3			28 ,2

TABLEAU N° 89.		CORNEILLE.		
Premier jour		41°,8		
Antépénultième jour		41 ,9		
Pénultième jour		41 ,3		
Dernier jour	Minuit à 1h			
	1h 2			
	2 3			
	3 4			
	4 5			
	5 6			
	6 7			
	7 8			
	8 9			
	9 10	9h 11′	mort. .	34°,2
	10 11			
	11 midi			
	Midi à 1h			
	1h 2			
	2 3			
	3 4			
	4 5			
	5 6			
	6 7			
	7 8			
	8 9			
	9 10			
	10 11			
	11 minuit			
Chaleur finale au moment de la mort		34 ,2		

Les animaux qu'on inanitie présentent les symptômes généraux suivants:

Restés calmes pendant une partie plus ou moins grande de l'expérience, par exemple, pendant la première moitié [1], les deux tiers [2], ou la presque totalité de celle-ci [3], ils deviennent ensuite plus ou moins agités [4]; et cette agitation continue aussi longtemps que la chaleur animale reste encore élevée. Quelquefois l'agitation commence dès le début [5].

Le dernier jour de la vie, l'agitation cesse et est remplacée par un état de stupeur [6]; l'animal mis en liberté, tantôt regarde avec étonnement autour de lui, sans chercher à s'envoler [7], tantôt ferme les yeux, comme dans un état de sommeil [8]. Cet état de stupeur s'accompagne d'un affaiblissement graduellement croissant [9]; la station devient vacillante et la tête branlante [10]; les orteils froids et livides se mettent en boule, et empêchent l'animal de se fixer solidement sur le sol [11], quoiqu'il puisse encore se tenir debout en s'appuyant sur le ventre et les ailes; mais bientôt il tombe sur le côté, et il y reste couché immobile, comme on l'y place, et sans pouvoir se relever [12].

Enfin l'animal s'affaiblit de plus en plus : la respiration se ralentit; la sensibilité diminue graduellement; la pupille se dilate et la vie s'éteint, tantôt d'une manière calme et tranquille, tantôt après quelques spasmes, de légères convulsions des ailes, et de la rigidité opisthotonique du corps [13].

[1] Pigeons 2 et 10.
[2] Pigeons 12 et 14.
[3] Pigeons 27, 28, 31, 32, 33, 34; tourterelles 23, 28; poules 1, 2; corneille 1.
[4] Pigeons 2, 10, 12, 14, 20, 27, 31; tourterelle 29.
[5] Pigeons 6, 18, 21.
[6] Pigeons 2, 6, 8, 25, 31, 33; tourterelles 23, 24, 28; poules 1, 2; corneille 1.
[7] Pigeons 28, 32.
[8] Pigeons 2, 28, 32; poule 2.
[9] Pigeons 2, 6, 14, 20, 21, 27, 32.
[10] Pigeons 2, 32.
[11] Pigeons 32, etc.
[12] Pigeons 2, 12, 14, 27, 28; tourterelles 23, 24, etc.; poules 1, 2; corneille 1.
[13] Pigeons 10, 14, 18, 25, 30; corneille 1.

Telle est l'histoire abrégée des symptômes généraux de l'inanitiation. Étudions-les avec plus de détail dans les différentes fonctions du corps, et commençons par la chaleur animale, qui fournit la clef de tout ce qui se passe alors.

A. Chaleur animale.

La chaleur animale, dans le dernier jour de la vie, présente des changements très-importants, dont nous allons nous occuper.

I. La division de nos expériences par périodes d'égale durée nous a déjà fait voir la chaleur animale s'abaissant d'une manière lente et graduelle, depuis le premier jusqu'au pénultième jour de l'inanitiation, le dernier jour ayant toujours été réservé. Maintenant, en laissant de côté, pour le moment, tout ce qui se rapporte à l'oscillation diurne de la chaleur, pour ne nous occuper que du refroidissement successif d'un jour à l'autre, les expériences dont se composent nos huit derniers tableaux nous fournissent, quant à la quotité de ce refroidissement jusques et y compris le pénultième jour, le résultat général et moyen suivant :

TABLEAU N° 90.	REFROIDISSEMENT TOTAL ET COLLECTIF du 1er au pénultième jour.
21 pigeons ont perdu collectivement	41°,6
15 tourterelles..... *idem*.....	47 ,0
2 poules..... *idem*.....	6 ,5
1 corneille..... *idem*.....	0 ,5
1 lapin..... *idem*.....	0 ,5
4 cochons d'Inde..... *idem*.....	12 ,0
Refroidissement moyen.....	$\frac{108°,1}{44} = 2,5$

Ce refroidissement, divisé par la durée moyenne de la vie de nos animaux inanitiés, moins un jour, c'est-à-dire $9^j,7 - 1^j,0$

$= 8^{j},7$ (tableau 16), donne pour la moyenne du refroidissement successif d'un jour à l'autre, depuis le premier jusqu'au pénultième jour, $\frac{2°,5}{8,7} = 0°,3$ par jour.

2. Ce refroidissement successif et journalier moyen prend subitement, le dernier jour de la vie, un accroissement considérable. Nous obtenons, en effet, pour la différence moyenne entre le pénultième et le dernier jour, en nous bornant à ceux des animaux des huit tableaux précédents chez lesquels ce dernier jour a été observé :

TABLEAU N° 91.	REFROIDISSEMENT TOTAL ET COLLECTIF du dernier jour.
13 pigeons ont perdu collectivement.....	178°,1
12 tourterelles.....*idem*.....	189,9
2 poules.....*idem*.....	22,1
1 Corneille.....*idem*.....	7,1
3 lapins.....*idem*.....	37,1
REFROIDISSEMENT moyen.....	14,0

Ainsi le refroidissement du dernier jour, comparé à celui des jours antécédents, a été $= 14°,0 : 0°,3 = 47 : 1$, c'est-à-dire que, dans le dernier jour de la vie, la chaleur animale, en moyenne, a baissé 47 fois plus rapidement que dans chacun des jours précédents.

3. Cet abaissement a été réellement beaucoup plus rapide encore, car il s'est effectué dans moins de vingt-quatre heures, puisque le dernier jour de la vie n'a pas toujours été un jour plein. En rapprochant pour le dernier jour de nos séries la quotité du refroidissement du temps qu'il a mis à s'effectuer, nous obtenons les résultats suivants (tableaux 82 à 89) :

a. Pigeons.

TABLEAU N° 92.	TEMPS ÉCOULÉ.	REFROIDISSEMENT.
Pigeon 2e	2h 8′	5°,1
—— 6e	17 3	9 ,2
—— 8e	4 34	1 ,4
—— 10e	6 2	12 ,4
—— 12e	8 1	14 ,0
—— 14e	14 36	15 ,2
—— 20e	2 59	2 ,2
—— 21e	12 41	14 ,8
—— 27e	10 27	7 ,4
—— 28e	4 54	6 ,9
—— 29e	3 36	6 ,6
—— 31e	15 9	9 ,0
—— 32e	18 1	13 ,0
—— 33e	16 27	13 ,0
—— 34e	3 35	2 ,1
SOMME	140 13	132 ,3

Ce qui donne un refroidissement moyen de $\frac{132°,30}{140,22} = 0°,94$ par heure pour le dernier jour de la vie.

b. Tourterelles. En répétant pour elles la récapitulation que nous venons de faire pour les pigeons, nous obtenons sur 16 d'entre elles, pour 102h 5′, un refroidissement collectif de 176°,5; ce qui donne un refroidissement moyen $= \frac{176°,50}{102,04} = 1°,73$ par heure. Cette moyenne, comparée à la précédente, montre que, pendant le dernier jour, le refroidissement horaire des tourterelles a surpassé de 0°,79 celui des pigeons, ce qui s'explique en grande partie par la différence de volume du corps, de petits animaux devant se refroidir plus rapidement que de plus gros.

c. Poules. Les observations du dernier jour sur elles embrassent un temps trop limité (24′ pour l'un et 45′ pour l'autre), pour pouvoir en déduire la marche du refroidissement pendant le dernier jour.

d. Lapins. D'après une seule observation faite sur l'un de nos cinq animaux, je trouve qu'en $2^h39'$ le corps s'est refroidi de 4°,7, ce qui donne un refroidissement moyen de 1°,77 par heure.

e. Cochons d'Inde. Les observations sur deux d'entre eux m'ont fourni pour $11^h12'$ un refroidissement de 16°,6, ce qui donne un refroidissement moyen de 1°,48 par heure.

Combinant maintenant toutes ces observations, nous en formerons le tableau suivant :

TABLEAU N° 93.	TEMPS ÉCOULÉ.	REFROIDISSEMENT.
Pigeons	$140^h13'$	132°,3
Tourterelles	102 5	176,5
Lapins	2 39	4,7
Cochons d'Inde	11 12	16,6
SOMME =	256 9	330,1

Ce qui donne pour résultat général, pendant le dernier jour, un refroidissement moyen de $\frac{33o°,10}{256,15} = 1°,29$ par heure, c'est-à-dire un refroidissement 103 fois plus rapide que celui de chacun des jours précédents, lequel, comme on l'a vu, n'était que de 0°,3 par jour.

Ce résultat nous fournit la conséquence suivante : c'est que, chez nos animaux inanitiés, la caloricité n'est pas complétement éteinte le dernier jour, même à une époque assez rapprochée de la mort, moment où en général ces observations ont été recueillies ; car nous verrons plus tard que nos tourterelles, par exemple, lorsqu'elles paraissent ne plus produire de chaleur, se refroi-

dissent au taux de 4° à 6° par heure; et, quant à des animaux plus gros, nous avons établi dans un autre mémoire que les chiens, lorsqu'ils cessent de produire de la chaleur, se refroidissent à raison de 2°,4 par heure, au moins dans le commencement du refroidissement [1].

4. Ce refroidissement du dernier jour, au taux moyen de 1°,3 par heure, ne s'est point fait avec uniformité. L'étude attentive de nos tableaux nous montre que, même ce jour-là, la réaction diurne se faisait quelquefois apercevoir (pig. 6e, 8e, 12e, 14e, 21e et 22e), et faisait remonter la chaleur à midi au-dessus de son taux précédent à minuit. D'autres fois l'abaissement se suspendait pendant plusieurs heures, pendant lesquelles l'animal restait plus ou moins refroidi, mais cependant stationnaire, parce que la production se maintenait de niveau avec la déperdition. Aussi, quand on compare le refroidissement pour les portions du dernier jour les plus éloignées de la mort avec celui des portions de ce même jour qui en sont les plus rapprochées, l'on trouve l'abaissement moyen plus considérable dans ces dernières que dans les premières. C'est ainsi que six de nos tourterelles (tourt. 5e, 6e, 12e, 13e, 14 et 24e), nous ont fourni, pour les premières heures du dernier jour :

$$\text{Dans } 38^{h}\,34' \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 44°,4,$$

ce qui donne un refroidissement moyen de $\frac{44°,40}{38,57} = 1°,15$ par heure; tandis que, pour les heures les plus rapprochées de la mort, ces six mêmes tourterelles nous ont donné :

$$\text{Dans } 10^{h}\,57' \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 32°,4,$$

c'est-à-dire un refroidissement moyen de $\frac{32°,40}{10,95} = 2°,96$ par heure, ainsi près de trois fois plus considérable que dans le premier cas.

L'on trouverait pour les pigeons des résultats analogues. Pour abréger, nous n'insisterons pas, et nous nous bornerons à dire

[1] *Mém. sur l'influence du syst. nerv. sur la chal. anim.* p. 11.

que c'est là la cause des anomalies que présente la marche du refroidissement pendant le dernier jour chez plusieurs de nos animaux.

5. L'abaissement total, depuis le premier jusqu'à la fin du dernier jour, a été en moyenne comme suit :

TABLEAU N° 94.		REFROIDISSEMENT COLLECTIF.
14	pigeons ont perdu collectivement	224°,9
12	tourterelles.... *idem*.....	218,7
2	poules..... *idem*.....	28,6
1	corneille..... *idem*.....	7,6
1	lapin..... *idem*.....	11,4
3	cochons d'Inde. *idem*.....	45,1
SOMME.... 33	animaux, donnant.....	536,3

Ainsi l'abaissement total qui a amené la mort a été en moyenne $= \frac{536°,3}{33} = 16°,3$.

6. Le degré de chaleur auquel la mort est survenue a été en moyenne comme suit :

TABLEAU N° 95.		RÉSULTAT COLLECTIF.
15	pigeons.....	393°,3
19	tourterelles.....	436,5
2	poules.....	56,3
1	corneille.....	34,2
1	lapin.....	27,0
3	cochons d'Inde.....	71,6
SOMME..... 41	animaux, donnant.....	1,018,9

Ce qui donne pour la chaleur moyenne au moment de la mort $\frac{1018°,9}{41} = 24°,9$.

Dans les vingt-quatre autres expériences que nous n'avons pas pu faire entrer dans ce tableau, parce que le degré de chaleur au moment de la mort n'avait point été constaté (sauf dans quatre cas sur lesquels nous reviendrons), lorsque dans le courant du dernier jour il y a eu des prises de chaleur, elles ont toujours indiqué un abaissement plus ou moins grand de la chaleur animale. Ces observations sont incomplètes, mais, dans les limites qu'elles embrassent, elles concordent avec les autres.

7. La chaleur minimum au moment de la mort a été = 18°,5 (20e pigeon); la chaleur maximum = 34°,2 (corneille).

8. Les quarante et une expériences précédentes se sont classées de la manière suivante, quant au degré de chaleur au moment de la mort :

De 18° à 24°	18 cas.
De 24 à 30	21
De 30 à 35	2
TOTAL	41

Ainsi la mort arrive généralement et indifféremment entre 18° et 30°, très-rarement au-dessus de 30°.

Maintenant, en rapprochant les uns des autres les différents résultats auxquels nous venons d'arriver, et, en particulier, en voyant nos animaux inanitiés, qui ne baissaient en moyenne que de 0°,3 par jour le dernier jour de la vie, se refroidir dans une proportion 103 fois plus rapide, perdre 14°,0 de chaleur, et mourir à 24°,9, avec tous les symptômes de la mort par le froid, et au degré où succombent en général les animaux dans l'état sain plongés dans des mélanges refrigérants, il paraît évident que le mécanisme qui chez nos animaux inanitiés a amené la cessation de la vie a été le refroidissement du corps, et que ce refroidissement, à peu près comme chez les animaux chez qui l'on a plus ou

moins complétement anéanti l'influence nerveuse, a été le résultat de la diminution graduelle de la faculté de produire de la chaleur[1]. Nous aurons bientôt l'occasion de fournir la preuve de la justesse de notre conclusion.

Une circonstance qui mérite cependant d'être remarquée, c'est que l'inanition, en se prolongeant, rend les animaux tellement faibles (surtout lorsque le refroidissement final a déjà commencé), qu'une cause assez légère suffit quelquefois pour amener une syncope mortelle. C'est ainsi que quatre de nos animaux sont morts par l'introduction du thermomètre dans l'œsophage ou le cloaque pour la prise de la chaleur animale. Leur température au moment de la mort était la suivante :

TABLEAU N° 96.	PIGEON 2e.	PIGEON 30e.	TOURTERELLE 28e.	TOURTERELLE 29e.
Chaleur initiale.....	42°,3	42°,0	42°,0	42°,7
Chaleur au moment de la mort accidentelle.....	32 ,8	33 ,3	25 ,7	39 ,0

L'on voit que chez tous la chaleur animale avait déjà baissé, et elle l'aurait fait bien davantage encore, au moins chez trois

[1] Dans mon Mémoire sur l'influence du système nerveux sur la chaleur animale, j'ai établi qu'au moment de la mort, la chaleur animale se trouvait abaissée aux degrés ci-après chez des animaux soumis aux genres de mort que nous allons énumérer:

Section du cerveau au-devant du pont de varole ; respiration *spontanée*	24°,0
Commotion violente du cerveau ; insufflation pulmonaire	22 ,3
Section de la moelle épinière dans le 1er espace intervertébral dorsal ; respiration *spontanée*	25 ,2
Section de la moelle épinière dans le 2e espace..... *id*..... *id*	23 ,0
Section de la moelle épinière dans le 3e espace..... *id*..... *id*	21 ,7
Section de la moelle épinière dans le 6e espace..... *id*..... *id*	19 ,8
Section de la moelle épinière dans le 9e espace..... *id*..... *id*	26 ,0
Section de la moelle épinière dans le 10e espace..... *id*..... *id*	28 ,5
Paraplégie par la ligature de l'aorte descendante avant sa sortie du thorax	28 ,3
Mort par immersion dans un mélange réfrigérant, environ	26 ,0
MOYENNE	24 ,5

d'entre eux, sans la syncope accidentelle qui a amené la mort, puisqu'ils paraissaient avoir encore plusieurs heures de vie au moment de la prise de chaleur. La possibilité d'une syncope pareille se conçoit aisément, en se rappelant les résultats que l'autopsie nous a fournis sur la diminution du poids du cœur, et l'on voit quelle faible limite de force nerveuse sépare la syncope par inanition de la cessation de la caloricité.

Du reste, ces quatre animaux étant morts d'une manière accidentelle, quoique leur degré de chaleur au moment de la mort eût été déterminé, nous avons dû, pour nos conclusions sur le dernier jour, les séparer de ceux chez qui la mort était survenue naturellement.

9. Continuons nos recherches sur le mécanisme de la mort, et examinons maintenant la marche de la chaleur eu égard à l'oscillation diurne. A cet effet, reprenant les résultats fournis par les douze pigeons du tableau 82, divisons en trois tiers le nombre de jours entre le premier et l'antépénultième de chaque série, et prenons la moyenne des tiers de même nom; nous en formerons le tableau suivant :

TABLEAU N° 97.		CHALEUR ANIMALE MOYENNE.		
		Midi.	Minuit.	Différence.
Premier jour		42°,3	40°,4	1°,9
Jours entre le premier et l'antépénultième (en moyenne sept jours)..	1er tiers des sept jours	42 ,0	39 ,6	2 ,4
	2e *idem*	41 ,8	38 ,7	3 ,1
	3e *idem*	41 ,6	37 ,9	3 ,7
Antépénultième jour		41 ,4	37 ,5	3 ,9
Pénultième jour		41 ,0	36 ,7	4 ,3
Dernier jour : chaleur au moment de la mort		—	26 ,0	10 ,7

Nous ferons sur ce tableau les observations suivantes :

a. La chaleur animale de midi s'abaisse régulièrement, mais

seulement d'une petite quantité, parce que ce n'est pas l'heure à laquelle le corps tend à se refroidir.

b. La chaleur de minuit s'abaisse régulièrement aussi, mais d'une manière bien plus rapide, parce que c'est alors que l'influence nocturne se fait apercevoir.

c. Il résulte de là que la différence entre midi et minuit, c'est-à-dire l'abaissement nocturne suit une marche progressivement croissante, et que l'oscillation journalière de la chaleur augmente en étendue, à mesure qu'on se rapproche davantage de la mort.

d. L'on se rappelle, sans doute (voyez tableau 63), que l'oscillation normale = 0°,74. En rapprochant sa valeur de celle que renferme la 3e colonne du tableau précédent (tableau 97), l'on voit que cette oscillation n'est que le minimum de toutes celles que le corps est susceptible d'éprouver, et que le passage de l'état normal à l'état inanitial n'est marqué que par l'augmentation de la valeur de l'oscillation.

e. L'abaissement de l'antépénultième nuit = 3°,9; celui de la pénultième = 4°,3; et enfin l'abaissement final, qui a amené la mort, = 10°,7. Il résulte de là que ce dernier abaissement n'est qu'un peu plus du double de celui de la nuit précédente, et moins du triple de celui de l'antépénultième nuit.

L'on voit alors que le refroidissement final n'est qu'un abaissement plus étendu que celui des nuits précédentes, un abaissement maximum à la suite duquel la réascension diurne ne peut plus avoir lieu, parce qu'il atteint la limite à laquelle le refroidissement est incompatible avec la vie.

Il résulte de là que l'inanitiation a pour effet d'accroître progressivement l'oscillation diurne de la chaleur, jusqu'à ce que le refroidissement devienne assez grand pour que la réaction diurne ascensionnelle ne s'opère plus ou presque plus, et que l'animal périsse prochainement de froid.

10. L'heure de la mort mérite à son tour de fixer notre attention, parce qu'elle se rattache aux influences que nous étudions. Il est bien vrai que, comme la mort n'est que la conclusion d'un

phénomène commencé plusieurs heures auparavant, l'époque à laquelle elle survient serait peut-être moins importante à connaître que celle du début du refroidissement final, lequel, on peut le dire, est le commencement de la mort. Mais, ce début étant très-difficile à constater, surtout à causes des syncopes mortelles que peuvent amener de fréquentes prises de chaleur dans ce degré de débilité du corps, le terme du refroidissement, c'est-à-dire la mort réelle, a été la seule partie dont je me sois occupé.

En divisant les 24 heures en deux périodes de 12 heures, l'une de midi à minuit et l'autre de minuit à midi, et classant nos animaux dans l'une ou l'autre de ces divisions, d'après l'heure à laquelle la mort réelle ou imminente est survenue, nous obtiendrons les résultats suivants :

TABLEAU N° 98.	NOMBRE des morts.
De minuit à midi	16
De midi à minuit	36
TOTAL	52

L'on voit par là que la mortalité de midi à minuit a beaucoup dépassé celle de minuit à midi, d'où résulte la conséquence intéressante que l'époque maximum de la mort est celle de l'abaissement de la chaleur animale par le développement de l'influence nocturne, et l'époque minimum celle où la réaction diurne tendrait à faire remonter la chaleur[1].

C'est ainsi que l'époque de la mort se lie aux phénomènes des jours précédents. Dans ceux-ci nous avons vu le refroidissement nocturne augmenter de plus en plus depuis le premier jus-

[1] Le refroidissement étant ralenti par l'augmentation du volume du corps, peut-être faudrait-il, pour de plus grosses espèces d'animaux, établir une coupe des vingt-quatre heures un peu différente pour retrouver le résultat ci-dessus.

qu'au pénultième jour; et le dernier jour, c'est à l'époque où l'abaissement nocturne devait s'établir, que le refroidissement final a eu lieu et que la mort s'est effectuée. L'on peut donc dire que l'abaissement nocturne des jours précédents n'était qu'un commencement de mort, arrêté par une réaction diurne subséquente; et ce n'est que lorsque les pouvoirs de réaction ont été tout à fait épuisés, que l'influence nocturne a pu prendre le dessus, achever le refroidissement et amener la mort. Et ces pouvoirs de réaction conservatrice sont tellement puissants que, même pendant le refroidissement final, la chaleur étant déjà descendue aux environ de 34°, on voit quelquefois ce refroidissement final s'arrêter pendant plusieurs heures, pour recommencer ensuite et se terminer par la mort.

L'on voit donc que, dans l'inanition, la mort se lie à l'oscillation diurne, et l'on conçoit comment, le refroidissement de la nuit étant l'élément de la mort, il est possible chaque soir de constater les premiers rudiments de celle-ci.

Et cela peut s'entendre aussi de l'état normal, puisqu'à l'intensité près, l'oscillation diurne s'y manifeste d'une manière semblable.

Maintenant, quel rôle l'anémie joue-t-elle dans ces phénomènes? L'inanitiation amenant la destruction successive du sang, la chair musculaire (pour ne pas parler des autres parties du corps) en opère la réparation, et, en se résorbant, maintient pendant un certain temps la *crase* du sang dans un état à peu près uniforme.

Cependant, plus la chair musculaire a donné et moins elle peut continuer à le faire. Des phénomènes curieux, sans doute, doivent se passer entre la force qui tend à faire rentrer la molécule musculaire dans le sang, et celle qui tend à la retenir dans le muscle. Quel rôle l'amoindrissement progressif de la force du cœur par la destruction successive de sa chair musculaire joue-t-il dans tout cela? C'est ce qui ne s'explique point encore. Mais dans tous les cas la masse du sang diminue, et avec elle dimi-

nuent bien probablement aussi la force nerveuse, l'oxygénation du sang et le dégagement d'acide carbonique. L'oscillation diurne devenant de plus en plus étendue, la chaleur animale s'abaisse chaque soir davantage, et enfin l'animal périt dans un degré plus ou moins grand de refroidissement, en général pendant la période de l'abaissement nocturne de la chaleur.

Telle est en abrégé l'histoire de ce qui se passe alors. Reprenons maintenant l'étude des différentes fonctions dans l'inanitiation.

B. RESPIRATION.

Il eût été intéressant de faire pour l'inanitiation une expérience analogue à celle du docteur Prout pour l'alimentation normale. L'on eût, sans doute, trouvé d'assez grandes différences pour le dégagement de l'acide carbonique entre le jour et la nuit. N'ayant fait aucune recherche de cette nature, je me bornerai à présenter ici le résultat de mes observations sur les mouvements respiratoires, soit avant, soit pendant le dernier jour de la vie, sans distinction entre l'abstinence complète et l'alimentation insuffisante, parce que les effets de ces deux manières d'être sur la respiration sont absolument les mêmes.

VINGT-HUITIÈME EXPÉRIENCE.

Sept de nos pigeons (n^{os} 4, 6, 8, 10, 12, 14 et 16) ayant été soumis à la privation des aliments, la respiration pendant la série même de l'inanitiation a été comptée avec toutes les précautions possibles pour que les animaux ne fussent point dérangés pendant la détermination. Ces prises de respiration se faisaient à midi et à minuit, immédiatement avant la prise de chaleur, et, pour mieux éviter les erreurs, chacune de ces prises durait de deux à cinq minutes consécutives.

Des déterminations de respiration analogues, sauf l'heure qui tombait sur quelque autre partie de la journée, ont été faites

sur les six tourterelles nos 7, 10, 11, 25, 26 et 27, inanitiées, les deux premières par l'abstinence complète des aliments, et les quatre dernières par une alimentation insuffisante.

Le détail journalier de ces différentes observations est consigné dans le tableau ci-dessous, n° 99.

RESPIRATION PENDANT L'INANITIATION.

TABLEAU N° 99.	PIGEONS.							TOURTERELLES.					
	4e.	6e.	8e.	10e.	12e.	14e.	16e.	7e.	10e.	11e.	25e.	26e.	27e.
État initial : respiration par minute	38	36	31	25	24	31	30	—	41	52	64	48	40
1er jour	31	—	—	22	20	32	24	—	43	37	55	51	—
2e *idem*	25	34	21	23	22	26	28	—	36	30	63	41	—
3e *idem*	20	—	22	19	26	28	28	38	19	37	40	40	—
4e *idem*	20	—	16	20	22	22	—	26	23	27	60	42	—
5e *idem*	20	23	16	19	23	22	22	21	23	31	50	41	—
6e *idem*	//	28	19	19	22	22	//	//	21	25	67	41	—
7e *idem*	//	32	16	19	22	20	//	//	22	//	65	33	—
8e *idem*	//	27	15	17	21	21	//	//	25	//	56	38	—
9e *idem*	//	—	//	18	21	25	//	//	25	//	50	34	35
10e *idem*	//	28	//	//	//	19	//	//	22	//	54	31	//
11e *idem*	//	—	//	//	//	20	//	//	//	//	50	37	//
12e *idem*	//	25	//	//	//	17	//	//	//	//	50	34	//
13e *idem*	//	—	//	//	//	19	//	//	//	//	46	37	//
14e *idem*	//	—	//	//	//	//	//	//	//	//	36	38	//
15e *idem*	//	—	//	//	//	//	//	//	//	//	38	42	//
16e *idem*	//	20	//	//	//	//	//	//	//	//	—	44	//
17e *idem*	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	40	//

Nous ferons sur ces résultats les remarques suivantes[1] :

1. *Respiration normale*. En prenant comme représentant à peu

[1] Nous avons omis à dessein, dans ce tableau, les observations de minuit pour nos sept pigeons. Nous ne nous en occuperons qu'un peu plus tard.

près l'état normal ce que nous avons appelé l'état initial de la respiration chez nos différents animaux, c'est-à-dire la respiration telle qu'elle était au début de l'inanitiation (1re ligne du tableau ci-dessus), l'on obtient en moyenne :

Pour les pigeons[1]..... $\frac{215}{7} = 31$;

Pour les tourterelles..... $\frac{245}{5} = 49$.

2. *Respiration du premier à l'avant-dernier jour, ces deux jours inclusivement.* Cet intervalle de temps, qui représente la totalité de l'inanitiation, sauf le dernier jour, nous fournit les résultats suivants :

a. La moyenne de la respiration par minute a été

Pour les pigeons..... $\frac{1093}{48} = 23$;

Pour les tourterelles..... $\frac{1867}{47} = 40$.

D'où l'on conclut que, dans les limites de temps précitées, l'inanitiation a fait baisser la respiration en moyenne $= 31 + 49 : 23 + 40 = 5 : 4$.

b. En divisant par tiers d'égale durée celles des séries du tableau précédent (tableau 99) qui en sont susceptibles, c'est-à-dire, pour les pigeons, les séries 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, et, pour les tourterelles, les séries 10, 11, 25, 26, et en prenant pour l'une et l'autre espèce d'animaux isolément la moyenne des tiers de même nom, l'on obtient :

TABLEAU N° 100.	RESPIRATION PAR MINUTE.	
	Pigeons.	Tourterelles.
1er tiers des séries	25	41
2e *idem*	23	38
3e *idem*	21	34

[1] Pour les pigeons, nous avons obtenu précédemment (tableau 66), pour la respiration normale moyenne, 36 par minute, résultat peu éloigné du précédent.

Par où l'on voit qu'à mesure que l'inanitiation fait des progrès, la respiration tend graduellement à se ralentir.

3. *Respiration pendant le dernier jour.* J'ai obtenu à cet égard les résultats suivants :

a. La respiration est plus lente le dernier jour que les jours précédents. Les nombres fournis, d'une part, par nos sept pigeons (4e, 6e, 8e, 10e, 12e, 14e, 16e), et de l'autre, par cinq de nos tourterelles (7e, 10, 11, 26e, 27e) nous donnent les résultats suivants :

Pour les pigeons..... $\frac{135}{7} = 19$;

Pour les tourterelles..... $\frac{143}{5} = 29$.

La moyenne pour le dernier jour fournie collectivement par ces douze animaux, comparée à celle que nous avons déjà obtenue pour l'état initial, donne, pour la fréquence relative des mouvements respiratoires au début et à la fin de l'inanitiation, le rapport de $31 + 49 : 19 + 29 = 5 : 3$, rapport plus grand, comme on voit, que celui entre l'état initial et la totalité de l'inanitiation, déduction faite du dernier jour.

b. Pendant la durée même de ce dernier jour, la respiration continue à se ralentir à mesure que le refroidissement fait des progrès. Ainsi, chez les six tourterelles (6e, 7e, 9e, 10e, 13e et 27e), la moyenne des respirations observées pendant les six dernières heures de la vie $= \frac{426}{17} = 25$ par minute, tandis que la moyenne du dernier jour lui-même $= 29$, comme nous venons de le voir.

c. Quoique la respiration se ralentisse à mesure que le refroidissement fait des progrès, cependant, aux approches de la mort, quelquefois elle s'accélère au point de devenir haletante (tourterelles 9e, 11e, 12e, 14e, 15e, 17e).

d. Enfin, quoique dans les dernières heures de la vie les mouvements respiratoires continuent à s'opérer, cependant la fonction respiratoire elle-même paraît ne presque plus s'exécuter. C'est au

moins ce que l'on peut conclure, α du refroidissement du corps, ϵ de la teinte bleuâtre des extrémités, γ de ce que chez quelques-uns de nos animaux, chez lesquels, pendant les dernières heures de la vie, les évacuations abdominales se sont trouvées suspendues, le poids du corps, pendant ces mêmes heures, n'a presque pas varié, ainsi qu'on le voit par le tableau suivant :

TABLEAU N° 101.	TEMPS ÉCOULÉ entre les pesées.	PERTE de poids.
		gram.
Tourterelle n° 1	2h 15′	0,129
——— 7	2 21	0,065
——— 10	0 38	0,065
——— 14	1 25	0,065
——— 15	1 8	0,000
——— 28	2 14	0,194
Somme	10 1	0,518

C'est-à-dire de 0,0087 par heure pour chaque animal. Or cette quantité devant être répartie entre la vapeur d'eau et l'acide carbonique, la perte sous ce dernier chef doit être nécessairement réduite à presque rien. Nous avons vu précédemment (tableau n° 8) que la perte horaire moyenne de nos tourterelles était = 0g,354. Elle était donc plus de quarante fois plus forte que celles de ces dernières heures.

4. *Influence diurne.* Quant aux effets diurnes, la facilité d'agitation des animaux qu'on inanitie, quand on les approche pendant la nuit, ne m'a pas permis de constater ces nuances délicates aussi bien que je l'aurais voulu. Quoi qu'il en soit, voici les résultats que j'ai obtenus sur six des pigeons du tableau 99.

TABLEAU N° 102.	NOMBRE des jours d'observation.	SOMME DES RESPIRATIONS.	
		Midi.	Minuit.
Pigeon n° 4.....	3	71	55
——— 8.....	6	110	126
——— 10.....	9	183	216
——— 12.....	8	184	208
——— 14.....	13	308	344
——— 16.....	4	110	98
Moyenne diurne.....	.....	22	24

Ainsi la respiration augmente la nuit relativement au jour, dans la proportion de 24 : 22. Je ferai sur ce résultat l'observation suivante :

Dans l'état normal, et, en partie, chez les mêmes individus, nous avions obtenu (tableau 66), pour la respiration moyenne de midi et de minuit les nombres de 36 et 32 par minute. En rapprochant de ces valeurs celles que vient de nous fournir le tableau précédent, il en résulte pour la respiration de minuit dans l'inanitiation :

a. un ralentissement relatif, quant à la respiration normale de minuit, ce qui est conforme à ce nous avons observé précédemment pour l'heure de midi ;

b. Une accélération relative, quant à la respiration de midi dans l'inanitiation.

Quant à ce dernier point, comme nous avons trouvé que, dans l'état normal, l'influence de la nuit ralentissait la respiration au lieu de l'accélérer, il me paraît probable que l'accélération relative observée dans l'inanitiation n'a tenu qu'à la facilité de réveil des animaux dans cet état, et à l'excitation momentanée qui en résulte.

Du reste, pour les mêmes six animaux du tableau 102, et pendant les mêmes 43 jours d'observation, les nombres respiratoires

ci-dessus, $\begin{matrix}\text{midi} \\ \text{minuit}\end{matrix} = \begin{matrix}22 \\ 24\end{matrix}$, ont correspondu à une chaleur animale moyenne $= \begin{matrix}\text{midi} \\ \text{minuit}\end{matrix} \begin{matrix}\frac{1790^{\circ},0}{43} = 41^{\circ},63. \\ \frac{1650^{\circ},4}{43} = 38^{\circ},38.\end{matrix}$

C. CIRCULATION.

J'ai cherché plusieurs fois à m'assurer de l'état de la circulation; mais, sur les animaux dont je me suis servi, il m'a été impossible de le faire avec quelque précision. Cependant je crois pouvoir affirmer que, dans le dernier jour de la vie, le cœur se ralentit et s'affaiblit progressivement.

Il n'est pas rare de rencontrer les oreillettes irritables, ou même se contractant encore spontanément, plusieurs heures après la mort : c'est ainsi que, chez le pigeon n° 16, l'oreillette gauche se contractait spontanément plus de $2^{h}12$, après la mort; chez la tourterelle n° 22, mêmes contractions, plus de $3^{h}23$, après la même époque.

D. FÈCES [1].

En résumant toutes celles de nos expériences d'abstinence qui renferment des observations à ce sujet, savoir : douze expériences sur des pigeons (n^{os} 2, 4, 6, 8, 14, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 34); et huit expériences sur des tourterelles (n^{os} 10, 15, 16, 18, 19, 20, 28, 29), c'est-à-dire en tout vingt expériences, je trouve chez les animaux privés d'eau, comme chez les autres :

1. Que, le premier jour de l'abstinence, les fèces ont été assez copieuses, parce qu'elles renfermaient le résidu de l'alimentation des jours précédents;

2. Qu'entre le premier et l'antépénultième jour, les fèces ont toujours été en fort petite quantité, mélangées de peu de liquides,

[1] Dans ce qui va suivre, il ne sera point question des fonctions urinaires, parce que les expériences que nous allons examiner n'ont été faites que sur des oiseaux.

et composées principalement de matières bilieuses vert d'herbe;

3. Que, dans le courant des trois derniers jours de la vie, et quand même l'animal était complétement privé de boissons, les fèces se mélangeaient d'une plus grande proportion d'eau, et offraient l'apparence d'une diarrhée colliquative, composée d'un mélange de matières vertes, de matières blanches salines et de beaucoup de liquides. Cet état ne commençait quelquefois que l'avant-dernier ou même le dernier jour seulement.

Ces trois états différents sont représentés par la moyenne du poids quotidien des fèces à l'état humide pour les trois pigeons nos 25, 26 et 27, inanitiés par la privation complète des aliments proprement dits, mais avec de l'eau à volonté, savoir[1].

TABLEAU N° 103.	POIDS MOYEN DES FÈCES HUMIDES.			
	25e pigeon.	26e pigeon.	27e pigeon.	Moyenne.
	gram.	gram.	gram.	gram.
Premier jour d'abstinence	20,85	19,81	18,13	19,60
Moyenne diurne pour les jours compris entre le 1er et les trois derniers jours	4,52	3,87	3,68	4,02
Moyenne diurne pour les trois derniers jours	7,19	9,23	10,20	8,87

L'on voit que rien ne ressemble plus à ce que nous avons obtenu pour la perte de poids diurne (tableau n° 8), que les résul-

[1]

DÉTAIL JOURNALIER DU TABLEAU N° 103.	25e pigeon.	26e pigeon.	27e pigeon.
1er jour	20,85	19,81	18,13
2e *idem*	8,48	5,83	3,69
3e *idem*	6,22	3,95	3,56
4e *idem*	4,53	2,78	3,17
5e *idem*	3,17	2,14	3,50
6e *idem*	1,75	3,50	3,63
7e *idem*	2,98	3,30	3,11
8e *idem*	3,88	3,69	2,01
9e *idem*	7,32	5,76	3,76
10e *idem*	10,36	10,23	4,99
11e *idem*	"	11,66	5,37
12e *idem*	"	3,50	9,52
13e *idem*	"	"	14,70
14e *idem*	"	"	2,92

N. B. Pour les pigeons 26 et 27, le dernier jour n'est qu'une portion d'un jour entier. (Voyez tableau n° 7.)

tats que nous présente le poids des fèces quotidiennes. C'est qu'en effet ces deux choses sont intimement liées l'une à l'autre.

4. Sauf l'âge des animaux, rien dans toutes ces expériences ne m'a paru avoir sur la durée de la vie une influence comparable à celle de la quantité des fèces. L'on pourrait presque dire que la durée de la vie est en raison inverse de la quotité relative des excrétions. Aussi, dans toute espèce d'inanitiation, est-ce surtout aux fèces qu'il faut avoir égard, soit qu'on cherche à estimer la durée probable de la vie, soit qu'il s'agisse d'obtenir la durée de vie maximum que comporte un mode quelconque d'inanitiation. Et cela se conçoit bien, à cause de l'influence qu'exerce, dans ce cas, la défécation sur le poids du corps.

E. FONCTIONS CÉRÉBRALES.

Nous avons déjà fait observer que nos animaux étaient assez tranquilles dans le commencement des expériences, et devenaient agités vers la fin. Cette agitation avait lieu le jour plus que la nuit chez les oiseaux, la nuit plus que le jour chez les lapins.

Lorsque la chaleur animale s'abaisse et que le refroidissement final commence à s'établir, alors les animaux tombent dans un état de stupeur de plus en plus profond. D'après les observations recueillies sur vingt-quatre animaux (neuf pigeons, treize tourterelles et deux poules), je trouve, en moyenne, les résultats suivants, sur l'époque où ces différents degrés de stupeur commencent à se manifester.

TABLEAU N° 104.	STUPEUR.		
	NULLE.	LÉGÈRE.	PROFONDE.
Moyenne.....	39°,6	36°,5	31°,2

c'est-à-dire qu'en général, jusqu'à 39 degrés, l'on n'observe pas encore de stupeur ; qu'elle commence à s'établir, mais à un degré

léger toutefois, à 36 ou 37 degrés; qu'elle devient profonde à 31 ou 32 degrés.

Dans l'état de stupeur légère, les oiseaux laissés en liberté ne cherchent pas à s'envoler; ils regardent avec étonnement autour d'eux et restent tranquilles en place. Dans la stupeur profonde, leur sensibilité est fort émoussée, leurs yeux sont fixes ou fermés, et ils restent immobiles, plongés dans une sorte de demi-assoupissement, dont pourtant on les réveille avec facilité, tant que la mort n'est pas imminente.

Cependant la sensibilité s'émousse de plus en plus; elle s'éteint en commençant par les extrémités et en finissant par la tête, et l'animal est mort. L'œil, qui avait cessé de cligner les 15 ou 30 dernières minutes de la vie, se ferme spontanément peu de moments après la mort générale, et tout est terminé.

F. FONCTIONS MUSCULAIRES.

A l'exception d'un degré d'affaiblissement qui paraît peu considérable, mais dont on juge mal cependant chez des animaux qu'on tient renfermés, les fonctions musculaires, jusqu'au dernier et à l'avant-dernier jour, n'offrent rien de particulier.

Dans les dernières vingt-quatre heures, à mesure que la chaleur animale s'abaisse, l'on voit les forces musculaires diminuer; et il existe entre ces deux ordres de faits un parallélisme suffisant pour penser qu'ils sont liés l'un à l'autre, et que la faiblesse tient au refroidissement. La chute des forces musculaires suit, en général, trois degrés :

1. Dans le premier, les forces sont seulement diminuées, et l'animal conserve la faculté d'exécuter tous les mouvements qui lui sont naturels.

2. Dans le second, la station sur les pattes est encore possible, mais l'animal ne peut se soutenir qu'en appuyant le ventre, les ailes, la queue et le bec. Cette station est très-vacillante, parce que, les orteils formant la boule, le corps ne porte que sur une surface arrondie, ce qui lui ôte toute fixité, et exige

l'élargissement de la base de sustentation. Quelquefois l'animal peut encore voler, que la station sur les pattes est déjà très-difficile, parce que la faiblesse est plus prononcée dans les extrémités abdominales que dans les autres.

Chez à peu près tous mes cochons d'Inde, j'ai observé que la faiblesse commençait par le train postérieur : ainsi, les pattes de devant se meuvent encore bien, que le train postérieur traîne comme dans la paraplégie. Chez les lapins, l'étroitesse de l'espace où ils étaient renfermés ne m'a pas permis de constater cette particularité, sauf, et d'une manière imparfaite seulement, chez le troisième d'entre eux.

3. Dans le troisième degré, la station n'est plus possible. L'animal reste étendu dans la position qu'on lui donne, sans avoir la possibilité de reprendre la station. Vers la fin de cette période, quand la mort devient imminente, alors surviennent des convulsions de l'iris, des spasmes des paupières et de l'œsophage, des rigidités et des soubresauts de tendons.

J'ai recherché à quel point de chaleur animale ces trois degrés d'affaiblissement correspondaient, et j'ai obtenu, d'après les observations faites sur vingt-cinq animaux, les résultats suivants :

TABLEAU N° 105.	1er DEGRÉ. — Affaiblissement léger.	2e DEGRÉ. — Station difficile.	3e DEGRÉ. — Station impossible.
Moyenne.....	36°,4	31°,8	26°,5

C'est-à-dire qu'aux environs de 37 degrés, soit pendant les cinq premiers degrés d'abaissement, la station s'effectue dans toute sa plénitude, mais que la fatigue survient assez promptement; qu'aux environs de 32 degrés, soit après dix degrés de refroidissement, la station ne peut avoir lieu qu'en appuyant ventre, ailes, etc. enfin, que depuis 27 degrés, c'est-à-dire après quinze

degrés d'abaissement, la station est impossible, et la prostration se trouve complète.

Nous allons voir bientôt combien nous avons raison de dire que les différents états que nous venons de caractériser se trouvent liés à l'abaissement de la chaleur animale.

IV. Du réchauffement artificiel.

Les expériences précédentes nous ayant amené à conclure que, dans l'inanition, la mort arrivait par refroidissement (conséquence naturelle de la diminution de la faculté de produire de la chaleur), il résultait de là que, si l'on soumettait les animaux déjà refroidis et près d'expirer à un réchauffement artificiel, l'on devait retarder l'époque de la mort et changer le mécanisme par lequel celle-ci arrivait. Tel est l'objet des expériences dont je vais maintenant rendre compte.

L'appareil dont je me suis servi pour le réchauffement de mes animaux était aussi simple que possible : c'était un petit vase en fer-blanc, ouvert par le haut, garni de coton pour y placer l'animal, et muni d'un double fond et d'une double paroi, entre lesquels on mettait un peu d'eau. Cette eau se réchauffait, et pouvait ensuite se maintenir indéfiniment à une température très-douce, avec la flamme d'un ou de deux lumignons. L'étuve une fois en activité, l'on y plaçait l'animal, dont le réchauffement commençait immédiatement et se prolongeait à volonté.

Passons maintenant aux expériences elles-mêmes.

VINGT-NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle n° 2, dont le poids initial était = 142ᵍ,52, ayant été soumise à une alimentation insuffisante (tableau 30), vers la fin du 6ᵉ jour de cette alimentation, se trouva arrivée à l'état de mort imminente, et son poids était réduit à 92ᵍ,66.

Dans l'état en question, la station, depuis deux heures de temps, était devenue impossible : le corps était étendu, la tête pendante;

les yeux étaient ouverts, fixes, sans clignotement, et le froissement des orteils n'accusait plus qu'un faible reste de sensibilité aux extrémités postérieures. La respiration, depuis quelques minutes, n'était plus appréciable; le corps froid; la chaleur animale = 23°,0. La perte de poids intégrale proportionnelle = 0,350. C'est dans cet état, que j'appelle de *mort imminente*, parce qu'au bout de peu de minutes il devait se terminer par la mort, que j'ai placé l'animal dans l'étuve, et que j'ai commencé le réchauffement. Appelons $0^h,0'$ le moment du début du réchauffement, et voyons ce qui est arrivé pendant la durée de celui-ci.

TEMPS du RÉCHAUFFEMENT.	
0^h, 0′	Mort imminente; début du réchauffement
0 , 2	La respiration est devenue très-marquée.
0 , 6	La respiration est bonne; l'animal est plus animé : il remue la tête.
0 , 7	Les yeux sont redevenus sensibles, et le clignotement est rétabli.
0 ,10	Respiration naturelle; la vie revient de plus en plus.
0 ,31	L'animal est bien vivace; il agite ses ailes comme pour se sauver.
0 ,34	La station sur les pattes est redevenue possible; mais elle est encore chancelante, et l'animal ne se soutient qu'en agitant ses ailes : tête encore vacillante.
0 ,43	L'animal paraît bien remis. Etant obligé de le quitter, je l'enveloppe d'un tissu qui l'empêche de s'envoler de dessus l'étuve pendant mon absence.
2 , 7	A mon retour, je trouve l'animal mort sur l'étuve, la tête renversée en arrière, dans un état d'opisthotonos. La chaleur dans le cloaque = 48°,7; le poids du corps = 90g,58 et la perte pendant le réchauffement = 2g,08.

L'animal n'ayant pas pu quitter l'étuve, comme il l'aurait fait s'il n'y avait pas été emprisonné, il est évident que sa chaleur s'y était élevée progressivement à cinq ou six degrés au-dessus de l'état normal, ce qui était plus que suffisant, comme on sait, pour amener la mort par la chaleur.

J'avoue que ce n'a pas été sans la plus vive satisfaction que j'ai vu un animal arrivé par l'inanition au dernier terme de l'insensibilité, de la prostration et du refroidissement, renaître, en quelque sorte, et reprendre rapidement un grand degré de force musculaire et de sensibilité, et cela sans nourriture, sans boisson, et sans autre secours que l'application de la chaleur artificielle. C'était là, sans doute, la vérification la plus complète que nous pussions obtenir de la justesse de nos conclusions précédentes, en même temps que cela nous montrait l'action nerveuse sous un jour assez nouveau.

Cette expérience, je me hâte de le dire, je l'ai répétée sur vingt-cinq autres animaux, et à peu près toujours avec un résultat semblable, pourvu que le réchauffement commençât avant que la sensibilité eût disparu aux orteils des extrémités postérieures, c'est-à-dire avant le commencement de la mort. Cette restriction, la seule que je sois tenté d'imposer pour les animaux sur lesquels j'ai opéré, montre que je ne me pressais pas de commencer le réchauffement pour mieux faire réussir mes expériences. Loin de là, je reculais autant que possible l'application de la chaleur, et, pour avoir trop attendu, il m'est plusieurs fois arrivé de perdre mes animaux pendant les déterminations de poids et de chaleur animale préalables au début du réchauffement, et de manquer ainsi des expériences péniblement préparées pendant plusieurs jours.

Ne pouvant, à cause de sa longueur, présenter le détail individuel de chacune des vingt-six expériences de réchauffement artificiel que j'ai effectuées, je vais offrir ici le résumé détaillé des résultats qu'elles m'ont fournis.

TRENTIÈME EXPÉRIENCE.

Dix-sept tourterelles (nos 1 à 17), sept pigeons (nos 23, 24, 28, 29, 31, 32, 34; une poule (n° 1), et un cochon d'Inde

(n° 5) (voyez tabl. 4, 83, 84, 87 et 88); ainsi en tout vingt-six animaux, ayant été graduellement amenés par l'inanitiation jusqu'au terme de mort imminente, ont été immédiatement soumis au réchauffement artificiel.

Examinons les phénomènes que ces divers animaux nous ont présentés, soit dans l'état de mort imminente, soit pendant le réchauffement artificiel qui lui a succédé.

§ I^er^. Du terme de mort imminente.

J'ai toujours cherché, comme je viens de le dire, à retarder le plus possible le début du réchauffement, et à ne le commencer qu'au moment où l'animal me paraissait sur le point d'expirer. J'y voyais le double avantage, d'abord de ne pas altérer les résultats de la série d'inanitiation, quant au poids du corps et à la température finale; ensuite, de rendre le rétablissement plus difficile et par conséquent plus probant. C'est ce qu'on va voir par les détails suivants, déduits essentiellement des tourterelles.

Sensibilité. Avant le début du réchauffement, tous les animaux étaient dans un état de stupeur complet; mais à peu près tous percevaient encore l'impression de l'attouchement des yeux et celle du froissement des orteils. Ainsi la vie persistait aux deux extrémités du système nerveux.

Du reste, les yeux étaient tantôt fermés (tourt. 1, 10, 14, 15 et 16), tantôt ouverts et ne clignant plus, c'est-à-dire insensibles à l'action lente de l'air (tourt. 2, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13 et 17); la pupille était dilatée (tourt. 3, 7), et l'on observait des contractions convulsives de l'iris (tourt. 5, 6, 10) et de la première ou de la seconde paupière (tourt. 5).

Mouvement musculaire. Quant au temps écoulé entre le moment où la station a cessé d'être possible et le début du réchauffement, sur neuf tourterelles, les seules sur lesquelles je l'aie noté, le réchauffement n'a commencé, en moyenne, que plus

de deux heures après le moment de la cessation de la station [1].

Du reste, avant le début du réchauffement, elles ont toutes éprouvé une prostration complète. Dans cet état, elles avaient la tête pendante, et restaient étendues dans la position où on les plaçait, sans pouvoir se relever et sans même chercher à le faire.

L'on observait dans quelques cas des soubresauts de tendons (tourt. 7, 8, 10), des accès de rigidités tétaniques de tout le corps (tourt. 8), et des spasmes de l'œsophage qui empêchaient l'introduction des corps étrangers, et qui amenaient une syncope mortelle, pour peu que l'on cherchât à forcer le passage (tourt. 1, 10, 14, 15).

Respiration. Les mouvements respiratoires, après s'être graduellement ralentis, devenaient au moment de la mort :

Tantôt de plus en plus éloignés et insensibles (tourt. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 16);

Tantôt réaccélérés, et cela quelquefois jusqu'au point de devenir haletants (tourt. 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17); changement qui alors ne précède en général la mort que de quelques instants.

Poids du corps. Chez tous, le poids du corps s'était abaissé jusqu'à la limite de mort imminente, ainsi qu'on peut le voir par le poids de chacune de nos dix-sept tourterelles, tel qu'il est rapporté dans les tableaux 7, 30 et 36.

TABLEAU N° 106.

Tourterelle n°	1	plus de	2	heures.
———	2		2	
———	3		2	
———	5		3	
———	6		$2\frac{5}{6}$	
———	7		$2\frac{5}{6}$	
———	9		$2\frac{5}{6}$	
———	12		$-\frac{5}{6}$	
———	16		1	
Somme.....	9	plus de	$18\frac{5}{6}$	

Quant aux pigeons, à la poule et au cochon d'Inde, leur perte de poids se trouvera dans les tableaux 7, 32 et 36, à l'exception pourtant des pigeons 23 et 24 pour lesquels nous renvoyons à l'appendice à ce mémoire.

Chaleur animale. Elle se trouvait abaissée à un point qui aurait suffi pour occasionner la mort, alors même qu'aucune autre cause ne serait venue combiner son action avec celle du refroidissement, ainsi qu'on peut le voir par l'inspection des tableaux 83, 84 et 87.

Les tourterelles, par exemple, avaient si bien atteint le terme de mort imminente, que pour celles, au nombre de dix-sept, que nous avons soumises au réchauffement artificiel, la moyenne de la chaleur animale, au moment de la mort imminente, était sensiblement la même que celle de nos tourterelles mortes de froid, savoir : 23° contre 22°,8 (tabl. 84 et 85).

L'on trouve assurément dans la réunion des symptômes précédents tous les signes de l'imminence de la mort; et en effet, lorsqu'on commençait le réchauffement, les animaux paraissaient ne conserver de la vie qu'un reste de respiration et de sensibilité.

Du reste, il est à remarquer que les dix-sept tourterelles sur lesquelles j'ai pratiqué le réchauffement artificiel se sont toutes ranimées assez rapidement, tandis que, des sept pigeons sur lesquels ce réchauffement a aussi été employé, il en est trois chez lesquels la réanimation ne s'est point effectuée, et qui sont morts, le premier au bout de six minutes, le second au bout de dix minutes, le dernier enfin au bout de vingt minutes de séjour dans l'étuve, temps qui aurait été suffisant pour obtenir un commencement de réanimation chez des tourterelles. Il est donc probable, et on le conçoit bien, que, dans le réchauffement artificiel, le volume du corps est un élément qu'il ne faut point négliger : car l'animal le plus gros est celui qui se réchauffe le plus lentement, et, à moins de se servir de moyens de réchauffement plus énergiques que ceux que nous avons employés, l'animal volumi-

neux aura le temps de périr de froid avant que la chaleur l'ait assez pénétré pour soutenir sa vie prête à s'éteindre[1].

§ II. Réanimation

Une fois qu'ils étaient arrivés à l'état que nous avons appelé de *mort imminente*, et dont nous venons de présenter l'exposé, nos animaux étaient soumis au réchauffement artificiel dans l'étuve que nous avons décrite précédemment. Cette étuve se trouvant déjà en activité quand on y plaçait les animaux, le réchauffement artificiel commençait immédiatement; ce qui était important, puisque peu d'instants plus tard la mort imminente eût été remplacée par la mort réelle. Du reste, pendant la durée du réchauffement, l'on suivait, montre à la main, tous les phénomènes que les animaux présentaient.

Le réchauffement étant souvent très-prolongé, et ayant exécuté toutes mes expériences seul et sans aucune assistance, j'étais parfois obligé d'abandonner mes animaux sur leur étuve pendant un temps plus ou moins long. Cette circonstance m'a fait manquer la fin de plus d'une expérience, dans lesquelles la mort est survenue pendant mon absence. C'est une imperfection; mais je n'ai pas pu m'y soustraire, et je me borne à la mentionner.

Sans rapporter les détails de mes vingt-six expériences de réchauffement, je vais continuer à en présenter le résumé collectif, en en classant et datant tous les résultats d'après l'heure du réchauffement à laquelle ils ont été recueillis. Ces résultats sont les suivants :

[1] Chez les quatre animaux chez lesquels seuls la réanimation ne s'est point effectuée, savoir, trois pigeons et une poule, le réchauffement du corps dans l'étuve a été nul ou à peu près. (Voyez plus bas.)

RÉCHAUFFEMENT. HEURES.	RÉCHAUFFEMENT. MINUTES.	
0	0	Symptômes de mort imminente; début du réchauffement.
0	de 0 à 5	Pendant ces cinq minutes, les animaux ont commencé à se ranimer un peu (tourt. 1, 6, 7, 8, 17).
		La respiration est devenue plus marquée et s'est faite sans ouvrir le bec (tourt. 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10).
		Quelques mouvements ont commencé à reparaître, mais encore faibles et vacillants (tourt. 3, 5, 6).
		Les yeux, auparavant ouverts, fixes et sans clignotement, se sont fermés plus ou moins complétement, la perception du contact de l'air y étant revenue (tourt. 7, 9, 17). Dans d'autres cas, ils restent encore ouverts, non clignotants (tourt. 10, 11).
0	de 5 à 10	Pendant ces cinq minutes, tous les animaux ont continué à se réchauffer et à se ranimer peu à peu. C'est ainsi que :
		1. Les mouvements ont pris plus de fermeté et d'étendue ; par exemple, chez la tourterelle n° 9, déjà, pendant la 10e minute, différents mouvements des ailes et des pattes se sont effectués.
		2. Les yeux sont redevenus très-sensibles à l'impression de l'air ; en sorte que, sauf les tourterelles nos 11, 13, 16, toutes celles qui, pendant les cinq premières minutes, avaient encore les yeux ouverts, les ont fermés pendant ces cinq minutes-ci (tourt. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12).
		3. La respiration est redevenue naturelle ou à peu près ; par exemple, à 50 par minute chez les tourterelles nos 3 et 4.
0	de 10 à 15	Pendant ces cinq minutes la vie s'est plus solidement établie encore :
		1. Les animaux sont restés tranquilles sur l'étuve (tourt. 4, 7, 9, 10, 11).
		2. Ils ont continué à avoir les yeux fermés (tourt. 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11).
		3. Leur respiration a été naturelle ; ainsi :

TABLEAU N° 107.

	RESPIRATION par MINUTE.
Tourteerelle n° 5	64
——— 6	40
——— 7	39
Moyenne	48

RÉCHAUFFEMENT.

HEURES.	MINUTES.	
0	de 15 à 30	Chez tous la vie a continué à s'affermir, et chez quelques-uns un certain degré de réaction a commencé à se manifester. C'est ainsi qu'ayant momentanément tiré de l'étuve la tourterelle n° 6, elle a pu, tant bien que mal, se tenir perchée sur le doigt et agiter ses ailes comme pour voler. Une autre (n° 9) s'est débattue avec force quand on l'a prise; une troisième (n° 14) a pu se tenir sur ses pattes, mais en appuyant un peu le ventre. Rien de nouveau quant aux yeux. Respiration moyenne $= \frac{45 + 32 + 35 + 17}{4}$ $= 32$ par minute.
0	de 30 à 45	Chez tous, c'est la force musculaire qui a surtout augmenté. C'est ainsi que la tourterelle n° 2 a agité ses ailes pour se sauver, et que la station sur les pattes lui est redevenue possible, mais en chancelant. Tourterelle 5e a cherché à sortir de l'étuve; tourterelle 6e a quitté l'étuve et s'est perchée sur son rebord; tourterelle 10e a fait des efforts pour la quitter; tourterelle 17e est venue se percher sur son rebord, mais était encore trop faible pour s'y maintenir. Chez quelques-unes l'estomac s'est réveillé : tourterelle 5e s'est mise à picoter quelques fèces, et tourterelle 7e a fait quelques essais de déglutition.
0	de 45 à 60	Les forces musculaires ont encore augmenté : tourterelle 5e se tient perchée sur l'étuve; elle a volé jusqu'à la distance de un à deux pieds; mais, bientôt épuisée, elle a semblé se laisser choir. Tourterelle 6e est déjà restée 23 minutes perchée sur le rebord de l'étuve; tourterelle 15e peut se tenir sur ses pattes et marcher; tourterelle 16e s'est perchée sur le rebord de l'étuve et a un peu volé; tourterelle 17e a réussi à se fixer sur le rebord de l'étuve. Au bout d'une heure de réchauffement, je trouve pour la chaleur acquise et la respiration, savoir :

TABLEAU N° 108.

	CHALEUR acquise.	RESPIRATION par minute.
Tourterelle 1re.....	39°,0	—
——— 5e.....	39,7	65
——— 6e.....	35,9	33
——— 9e.....	36,9	Haletante.
——— 10e.....	34,7	23
——— 11e.....	34,7	42
——— 13e.....	34,9	17

RÉCHAUFFEMENT.		
HEURES.	MINUTES.	
		On commence quelques essais d'alimentation chez la 14e et chez la 17e tourterelle. Chez la première, le blé a paru s'arrêter dans l'œsophage et ne point parvenir jusqu'au jabot :
		Quant aux pigeons :
		Trois d'entre eux sont morts dans le commencement de cette première heure : n° 31 au bout de six minutes ; n° 32 au bout de dix minutes ; n° 28 au bout de vingt minutes d'étuve : ce dernier ne s'était réchauffé que de 1°,1 seulement.
		Quatre autres, au contraire, ont résisté ; après s'être ranimés lentement, au moins comparativement aux tourterelles, ils sont restés tranquilles sur leur étuve dans un assez grand degré d'affaiblissement. Trois d'entre eux (nos 23, 24 et 34) reçoivent des aliments.
		La poule n° 1 est morte au bout de vingt minutes d'étuve, après s'être réchauffée de 0°,4 seulement.
		Le cochon d'Inde n° 5 s'est remis pendant cette première heure, mais avec quelque difficulté.
1	de 0 à 60	Dans le courant de cette deuxième heure, il est mort deux tourterelles, savoir : la tourterelle n° 2, qui, enveloppée d'un tissu, avait été laissée sur l'étuve, comme nous l'avons dit précédemment, et qui y est morte de chaleur à 48°,7 environ. La tourterelle n° 11 est morte au bout de 1h,42 minutes d'étuve. Sa mort a été précédée de dix attaques de convulsions, chacune d'elles suivie d'un état de collapsus ou d'un renversement opisthotonique du corps. La chaleur animale au moment de la mort était = 38°,4.
		Les quinze autres tourterelles, au contraire, ont toutes prospéré. Presque toutes (nos 1, 3, 4, 6, 10, 13, 14, 16, 17) s'envolent spontanément dans la chambre, ou quittent le fond de leur étuve pour venir se percher sur son rebord, n'ayant point été assujetties comme la tourterelle n° 2. Les autres (nos 5, 7, 8, 9, 12, 15) restent sur leur étuve, tranquilles, mais bien animées.
		Je trouve à la fin de cette deuxième heure :

TABLEAU N° 109.

	CHALEUR acquise.	RESPIRATION par minute.
Tourterelle n° 3	36°,9	—
——— 7	33,9	28
——— 12	40,0	70
——— 13	35,6	18

RÉCHAUFFEMENT.		
HEURES.	MINUTES.	
		On a continué les essais d'alimentation : ainsi la tourterelle 3e reçoit une ingestion de blé et d'eau, de même que la 1re, la 14e, la 15e et la 16e. Chez quelques-unes le blé ne descend dans le jabot qu'après l'ingestion de l'eau : plusieurs évacuent beaucoup de fèces vertes et blanches.
		Les quatre pigeons restants ont continué à résister, mais sans faire de grands progrès ; ainsi, par exemple, le pigeon n° 23 reste faible et ne peut pas encore avaler son blé ; le pigeon 29 ne peut pas se tenir sur ses pattes : quand on le tire de l'étuve, il reste couché sur le côté ; le pigeon 34 reprend plus de vie qu'auparavant.
		Le cochon d'Inde n° 5 paraît assez bien ; cependant, en l'examinant de près, l'on voit qu'il n'a pas le commandement du train postérieur, qui reste flasque et dans un état paraplégique.
3 et 4	//	Les mêmes phénomènes se répètent : les animaux, tantôt restent sur leur étuve, tantôt se tiennent perchés sur son rebord, tantôt enfin la quittent et s'envolent à un ou plusieurs pieds de distance de là.
		Il en meurt un ou même deux, savoir : la tourterelle n° 6, trouvée morte à la fin de la 4e heure, après qu'on eut cessé de la surveiller pendant deux heures de temps ; la tourterelle 1re, morte probablement vers la fin de la 4e heure, le réchauffement ayant été cessé depuis le courant de la 3e heure.
		Quant aux pigeons, le n° 9 meurt au bout de $2^h,48'$ d'étuve, après quelques mouvements convulsifs légers et une extension générale, la chaleur acquise étant = 40°,9 ; le pigeon 23 est toujours très-faible et n'a pas encore avalé son blé ; le pigeon 24, à la fin de la 3e heure, est perché sur son étuve et s'envole quand on l'approche ; le pigeon 34 reprend plus de force.
		Le cochon d'Inde n° 5 meurt après $2^h,44'$ de réchauffement.
5 et 6	//	Rien de nouveau. La tourterelle 3e meurt à la fin de la 5e heure pendant la prise de chaleur dans le cloaque, chaleur acquise = 38°,1 au moment de la mort.
		Quant aux pigeons, le n° 23 a avalé son blé et quitté son étuve ; le n° 24 n'a plus besoin de son étuve et est complétement rétabli ; le n° 34 a repris ses forces, et, dans les heures subséquentes, il a quitté son étuve pendant un temps prolongé.

§ III. Vie artificielle.

La réanimation s'étant effectuée par le réchauffement artificiel du corps, les animaux, par la continuation de l'application

de la chaleur, ont recouvré successivement l'usage de leurs facultés. Pendant cette existence artificielle, les diverses fonctions, à l'intensité près, se sont exécutées comme dans l'état normal. Ainsi nous avons vu :

A. *La sensibilité* se rétablir assez vite, et l'animal reprendre les perceptions du tact, de la vue et de l'ouïe;

B. *Le mouvement musculaire* se rétablir assez promptement aussi, et l'animal redevenir capable de se tenir sur ses pattes, de marcher et de voler;

C. *Les mouvements respiratoires,* et sans doute aussi *la circulation*, reprendre leur état normal;

D. *Les sécrétions* se rétablir pareillement, puisque les animaux réchauffés excrètent une grande quantité de matières vertes et blanches, c'est-à-dire bilioso-urinaires, et que leur poids, comme nous le verrons, diminue avec une grande rapidité.

Reste maintenant à rechercher comment, pendant cette vie artificielle, se sont effectuées la digestion et la caloricité.

E. *De la digestion.*

L'appétit revient chez les animaux inanitiés qu'on ranime par le réchauffement artificiel; car on les voit quitter leur étuve pour aller picoter tout ce qu'ils peuvent rencontrer. Reste à savoir si à cet appétit se trouve jointe la faculté de digérer, et c'est là ce que nous allons examiner.

1. *La digestion ne s'effectue pas quand on suspend le réchauffement artificiel.*

TRENTE ET UNIÈME EXPÉRIENCE.

Par un réchauffement de deux heures, ayant rétabli la tourterelle n° 1 d'une manière assez complète pour ramener sa chaleur acquise à 39°,0 et lui restituer la faculté de se tenir perchée et de voler à une petite distance, j'introduis dans son jabot vingt-deux graines de blé, et lui ayant présenté de l'eau, je trouve qu'elle en boit un poids de 8ᵍ,03.

Je replace alors l'animal dans sa cage, et, cessant de le réchauffer, je l'abandonne à lui-même pendant quelques heures, au bout desquelles je le retrouve mort et froid.

A l'autopsie, je retrouve les vingt-deux graines de blé non digérées, encore entières dans le jabot et l'estomac.

Ce point était suffisamment évident pour ne pas avoir besoin d'expériences ultérieures. Continuons notre examen.

2. *La digestion s'effectue, au contraire, en continuant le réchauffement artificiel pendant un temps suffisant.*

Ceci est extrêmement important à établir, et je m'en suis assuré de la manière la plus positive par les expériences suivantes :

TRENTE-DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Par le réchauffement artificiel seulement, ayant rétabli la tourterelle n° 3 assez bien pour qu'elle se soit envolée deux fois et que la chaleur sous l'aile soit remontée à 37°,9, après 1h 25' de réchauffement, je lui ingérai quatorze graines de blé, je la laissai boire à volonté à deux reprises différentes, et je continuai l'application de la chaleur.

Après cinq heures de réchauffement, ayant introduit le thermomètre dans le cloaque, je trouvai la chaleur = 38°,1; mais l'animal périt de syncope pendant cette détermination.

A l'autopsie, je retrouvai treize graines de blé entières dans le jabot, et rien dans l'estomac.

Ainsi, au bout de 3 1/2 heures, la digestion, malgré le réchauffement, n'avait en quelque sorte pas encore commencé, puisqu'il ne manquait qu'une seule graine de blé.

TRENTE-TROISIÈME EXPÉRIENCE.

Ayant rétabli par le seul réchauffement la tourterelle n° 16, de manière à lui restituer la faculté de voler, on lui fait successivement les ingestions suivantes :

TABLEAU N° 110.	BLÉ INGÉRÉ.	EAU BUE.
	gram.	gram.
Après 2h 0′ de réchauffement	1,55	1,94
—— 6 *idem*	1,55	
TOTAL	3,10	1,94

Ces 3g,10 de blé se composaient de cinquante graines comptées exactement.

Après sept heures de réchauffement, je quitte l'animal, le laissant perché sur son étuve, et d'ailleurs très-bien; mais, pendant mon absence, l'étuve s'étant refroidie parce qu'elle se trouvait placée dans un courant d'air, en rentrant (à 10h 45′ de réchauffement), je trouve l'animal étendu sur le carreau, refroidi et prêt à expirer. Il meurt en effet une minute après, c'est-à-dire à 10h 46′ de réchauffement, et je trouve au moment de la mort la chaleur du jabot = 24°,4. Ainsi il était mort de froid.

A l'autopsie je trouve :

TABLEAU N° 111.	
Graines entières contenues dans le jabot	40
—— l'estomac	6
Graines *évidées* (soit pelures sans partie farineuse) contenues dans l'estomac	4
TOTAL des graines	50

ainsi quand l'animal est mort, c'est-à-dire environ neuf heures après la première ingestion de blé, il y avait déjà quatre graines évidées. Et en admettant, à cause du refroidissement, que l'action de l'estomac avait cessé depuis au moins une heure avant la mort, l'on en conclura que, dès la huitième heure après l'ingestion de l'aliment, la digestion était en pleine activité.

Il est à remarquer que l'animal est mort à une température

sensiblement la même que celle qu'il avait au moment de la mort imminente, lors du début du réchauffement, savoir : 24°,4 contre 23°,9.

TRENTE-QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle n° 13 ayant été rétablie par le réchauffement artificiel seulement, et assez bien pour avoir recouvré la faculté de voler à huit ou dix pieds de distance, après 5^h 46′ de réchauffement, on lui ingère vingt-trois graines de blé, pesant 1^g,29, sans lui donner à boire, et l'on continue le réchauffement.

Après cette ingestion, l'animal a été très-bien, et sa chaleur, pendant les douze heures qui l'ont suivie, a été en moyenne = 37°,1 ; mais plus tard il s'est refroidi, et est mort à 33°,9, après 25^h 5′ de réchauffement.

Le canal digestif, examiné avec soin, offre le résultat suivant : le jabot ne contient plus de blé ; l'estomac n'en contient que des pelures. Les intestins, dans leur moitié supérieure, renferment du chyme ; dans leur moitié inférieure, des matières bilieuses vertes, comme chez les animaux inanitiés.

TRENTE-CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle n° 14 (tabl. n° 38) ayant été rétablie par le réchauffement artificiel seulement, on lui ingère successivement, savoir :

TABLEAU N° 112.	GRAINES de blé.	EAU BUE.
	graines.	grammes.
Pendant la 2e heure du réchauffement	50	—
à 10^h 27′ *idem*	—	1,42
14 — *idem*	25	3,63
24 — *idem*	25	4,40
32 — *idem*	25	4,92
36 — *idem*	—	1,16
44 — *idem*	25	2,39
48 — *idem*	—	1,04
57 — *idem*	25	1,04
TOTAL	175	20,00

Ces 175 graines de blé pesaient collectivement 10ᵍ,04. On observe que, dès la 31ᵉ heure, les fèces avaient pris une teinte moins foncée, et paraissaient modifiées par l'arrivée de l'aliment.

A 61 1/2 heures de réchauffement ayant quitté l'animal, en rentrant, à 64 1/2 heures, je le trouve mort.

A l'autopsie, je retrouve dans l'estomac et le jabot 66 graines de blé entières, pesant humides 5ᵍ,63 et desséchées 3ᵍ,56. Ainsi dans ces 62 ou 63 heures il y avait eu de digéré 6ᵍ,48 de blé.

TRENTE-SIXIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle nº 15 (tableau nº 38) ayant été rétablie par le réchauffement artificiel seulement, on lui ingère successivement:

TABLEAU Nº 113.	BLÉ en poids.	EAU BUE.
	gram.	gram.
A 2 heures du réchauffement	2,46	2,59
6 *idem*	2,01	3,43
15 *idem*	1,55	4,53
24 *idem*	1,55	3,88
28 *idem*	—	2,40
36 *idem*	—	1,23
49 *idem*	—	1,23
62 *idem*	0,58	0,65
TOTAL	8,15	19,94

A 68 heures je la quitte en la laissant perchée sur son étuve; mais en rentrant, à 70 heures, je la trouve morte et froide.

Dès la 15ᵉ heure les fèces sont devenues roussâtres, de vertes qu'elles étaient auparavant. Depuis la 25ᵉ heure, elles ont offert, comme dans l'état normal, des pelures de blé non digérées, preuve du rétablissement des fonctions de la totalité du canal alimentaire. A la 49ᵉ heure, il y avait encore du blé dans le jabot.

A l'autopsie, l'on retrouve un poids de 0g,78 de blé humide, qui, désséché, se réduit à 0g,58. Ainsi, pendant les 68 dernières heures de réchauffement l'aliment digéré a été $\begin{cases} \text{blé} — 7^g,57. \\ \text{eau} — 19,94. \end{cases}$

Nous conclurons de tout ce qui précède que, chez nos animaux inanitiés et rétablis par le réchauffement artificiel,

1° L'aliment ne s'est pas digéré du tout, lorsque le réchauffement n'a pas été continué pendant plusieurs heures après son ingestion;

2° L'aliment s'est digéré au contraire d'une manière complète quand on a continué le réchauffement pendant un temps suffisant;

3° Que ce n'est guère que la 8e heure après l'ingestion que la digestion s'est trouvée bien établie, ce qui semblerait indiquer un grand retard dans l'époque où celle-ci a commencé. Cependant nous verrons plus tard que quelquefois la digestion s'est rétablie plus promptement (voy. l'appendice);

4° Que l'accomplissement de la digestion s'est reconnu aux fèces, dont la couleur a été modifiée par l'arrivée du résidu alimentaire. Cette modification s'est manifestée entre la 15e et la 30e heure à dater de la première ingestion de l'aliment.

F. *De la caloricité.*

Ce qu'il y a de plus important dans le traitement de l'inanition, c'est de savoir comment on rétablit la caloricité, et c'est là ce dont nous allons nous occuper.

1. *La chaleur acquise par le réchauffement est une chaleur variable, qui n'offre point la quasi-fixité que présente la chaleur animale.*

Nous avons vu ci-devant (page 574) que, pour les tourterelles, le refroidissement final a été de 2°,96 par heure, pour les époques les plus rapprochées de la mort, alors que ces animaux ne produisaient plus que fort peu de chaleur; pendant le réchauffement, elle regagnent cette chaleur perdue, et cela quelquefois avec une très-grande rapidité, comme, par exemple, la tourterelle n° 9, qui a acquis 9°,30 en trente minutes, et la tourterelle n° 1, qui a gagné 10° en quinze minutes.

Mais la différence entre cet état et l'état normal, c'est que cette chaleur n'est pas une chaleur propre, mais une chaleur d'emprunt, qui ne fait que traverser le corps, et qui fait subir à ce dernier toutes les variations de hausse et de baisse de la source qui la lui fournit. C'est ce que fera voir la tableau suivant, où nous avons réuni différentes prises de chaleur chez nos animaux réchauffés artificiellement.

TABLEAU N° 114.		CHALEUR ACQUISE.					
		1re tourterelle.	7e tourterelle.	8e tourterelle.	9e tourterelle.	10e tourterelle.	13e tourterelle.
0h 0′	État initial.....	—	20°,7	25°,5	22°,9	23°,1	22°,3
— 30	De réchauffement....	—	—	—	32 ,6	—	—
— 45	*Idem*.....	28°,7	—	—	—	—	—
— 50	*Idem*.....	31 ,8	—	—	—	—	—
— 55	*Idem*.....	35 ,9	—	—	—	—	—
1 0	*Idem*.....	39 ,0	—	—	36 ,9	34 ,7	34 ,9
1 30	*Idem*.....	—	36 ,9	—	—	—	—
2 —	*Idem*.....	—	33 ,9	—	—	—	35 ,6
3 —	*Idem*.....	—	36 ,4	—	37 ,6	—	37 ,9
4 —	*Idem*.....	—	38 ,8	—	38 ,2	36 ,4	37 ,9
5 —	*Idem*.....	—	36 ,9	34 ,9	39 ,0	—	38 ,4
6 —	*Idem*.....	—	37 ,6	31 ,0	38 ,1	34 ,9	35 ,5
7 —	*Idem*.....	—	—	30 ,3	36 ,6	35 ,7	35 ,9
8 —	*Idem*.....	—	—	31 ,3	37 ,9	34 ,7	37 ,9
9 —	*Idem*.....	—	—	34 ,6	39 ,8	—	38 ,4
10 —	*Idem*.....	—	—	35 ,4	39 ,5	—	38 ,8

Rien de plus variable que le degré de la chaleur acquise de ces animaux, et par conséquent rien de plus opposé par caractère à la chaleur animale proprement dite, dont la quasi-fixité est d'une importance telle, qu'on ne peut l'atteindre qu'en s'attaquant au principe de vie de l'individu.

La variabilité de cette chaleur acquise chez nos animaux a dé-

pendu des deux causes suivantes : *a.* de ce que l'étuve elle-même a probablement varié de chaleur; *b.* de ce que les animaux étaient tantôt couchés dans le fond de cette étuve, tantôt perchés sur son rebord, double position dans laquelle la quantité de chaleur qu'ils recevaient était essentiellement différente.

2. *La caloricité, perdue par le passage du corps à l'état de mort imminente, ne se recouvre point par le réchauffement artificiel.*

Voulant m'assurer de la déperdition de chaleur des animaux inanitiés, j'ai fait l'expérience suivante :

TRENTE-SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

Ayant déterminé très-exactement la chaleur acquise des tourterelles 8e et 10e, je les ôte de l'étuve et je suspends leur réchauffement pendant précisément une heure; déterminant alors de nouveau leur chaleur, je trouve :

Tourterelle 8e, à 5h 0′, depuis le début du réchauffement, chaleur acquise.. = 34°,9
à 6h 0′, *idem* chaleur restante. = 31°,0

DIFFÉRENCE, soit perte spontanée en une heure = 3°,9

Tourterelle 10e, à 18h 5′, depuis le début du réchauffement, chaleur acquise. = 35°,6
à 19h 5′, *idem* chaleur restante. = 29°,4

DIFFÉRENCE, soit perte spontanée en une heure = 6°,2

Ainsi, en cessant le réchauffement, ces animaux ont perdu en moyenne $\frac{3°,9 + 6°,2}{2} = 5°,0$ par heure de leur chaleur acquise; par conséquent à peu près le double de ce que nous les avons vus perdre spontanément pendant les heures les plus rapprochées de la mort.

L'inanition met donc l'animal à sang chaud dans un état bien

singulier pour lui. Elle le transforme en un être qui reçoit et qui perd de la chaleur en raison de la température du milieu dans lequel il se trouve; elle résout en quelque sorte le curieux problème de transformer, au moins momentanément, l'animal à sang chaud en un animal à sang froid, car tous deux indifféremment perdent et reçoivent de la chaleur, et dans de certaines limites, différentes cependant pour l'un et pour l'autre, vivent et se mettent en équilibre de température avec le milieu qui les environne.

3. *La caloricité perdue se recouvre par la digestion.*

Ce que le réchauffement ne fait pas, la digestion l'opère, comme nous allons le voir. Mais, quand je parle de digestion, je n'entends pas seulement l'élaboration de l'aliment dans l'estomac; je prends ce terme dans son acception la plus étendue, dans celle de l'ensemble des transformations qu'éprouve l'aliment, dans les premières comme dans les secondes voies.

Pour résoudre la question ci-dessus, j'ai recherché si les animaux que je maintenais en pleine digestion à l'aide de la chaleur reconquéraient la faculté de se suffire à eux-mêmes sans éprouver le refroidissement des animaux inanitiés et non alimentés chez lesquels on suspend le réchauffement; j'ai obtenu à cet égard les résultats suivants :

TRENTE-HUITIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle n° 14, ayant été alimentée depuis la première heure du réchauffement, a pris jusqu'au début de l'expérience actuelle : blé $= 8^{g},61$, et eau $= 17^{g},94$, et depuis treize ou quatorze heures de temps, ses fèces ont été modifiées par la présence du résidu de l'aliment. Cette tourterelle, au bout de $45^{h}\,41'$ de réchauffement consécutif, a été tirée de l'étuve et abandonnée à son refroidissement spontané. Elle a fourni alors les résultats suivants :

A $45^h,41'$ de réchauffement : chaleur acquise (dans le jabot) $= 34°,3$
A $46^h,41'$ *idem* chaleur restante (dans le jabot) $= 33°,6$

Différence, soit refroidissement spontané en 1 heure $= 0°,7$

TRENTE-NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle 15e, ayant été alimentée à dater de la 2e heure de réchauffement, avait pris depuis lors $7^g,58$ de blé, $16^g,83$ d'eau, et ses fèces, modifiées depuis environ vingt heures, par l'arrivée du résidu de l'aliment, contenaient depuis dix heures de temps des pelures de blé. Cet animal, au bout de $34^h,32'$ de réchauffement, a été abandonné pendant une heure à son refroidissement naturel hors de l'étuve, et a fourni les résultats suivants :

A $34^h,32'$ de réchauffement : chaleur acquise (dans le jabot) $= 38°,2$
A $35^h,32'$ *idem* chaleur restante (dans le jabot) $= 37°,9$

Différence, soit refroidissement spontané pendant 1 heure $= 0°,3$

QUARANTIÈME EXPÉRIENCE.

La tourterelle 17e, ayant été alimentée à dater de la première heure du réchauffement, a pris jusqu'au début de l'expérience actuelle, blé $\left\{\begin{array}{l}\text{ordinaire...} = 24^g,80\\ \text{de Turquie} = 32,37\end{array}\right\} = 57^g,17$; et eau $= 60^g,09$; et ses fèces, depuis 144 heures de temps, ont présenté des pelures de blé. Cet animal, au bout de 161 heures de réchauffement, ayant été abandonné pendant sept heures consécutives à son refroidissement naturel, a fourni les résultats suivants (la chambre étant à $19°,5$) :

Chaleur acquise, maximum pendant le réchauffement $= 41°,6$
Chaleur après sept heures de cessation de réchauffement $= 41°,8$

Accroissement... $= 0°,2$

Ainsi, depuis la suspension de l'étuve, il y a eu réchauffement au lieu de refroidissement, et, par conséquent, l'animal pouvait se maintenir complétement par lui-même, sans le secours d'une chaleur étrangère. (Voyez l'appendice.)

QUARANTE ET UNIÈME EXPÉRIENCE.

Le pigeon 24e a reçu, dès la première heure du réchauffement, une ingestion de 32g,37 de blé, et de l'eau à volonté. Se trouvant à la fin de la 3e heure parfaitement bien remis, et s'envolant quand on l'approche, à 3 heures, à dater du début de l'étuve, on cesse le réchauffement. L'on trouve alors :

Après 2 heures de cessation du réchauffement, chaleur (dans le cloaque) = 40°,7

Après 12 heures de cessation du réchauffement, chaleur (dans le cloaque) = 39°,3

A cette dernière époque, le blé introduit dans le jabot était à peu près tout digéré.

Ainsi, pendant les dix dernières heures de la cessation du réchauffement, l'animal ne s'était refroidi que de 1°,4, c'est-à-dire d'une quantité assez minime[1] pour que l'on eût la certitude qu'il pouvait se suffire à lui-même, comme en effet cela a eu lieu. La digestion lui avait rendu sa caloricité[2].

Nous voyons dans ces expériences curieuses l'effet de l'alimentation sur la production de la chaleur réduit à sa plus simple expression. En effet, par l'inanitiation préalable poussée jusqu'à la mort imminente, c'est-à-dire jusqu'à la cessation de la caloricité, nous éliminons toute cette masse de matériaux *calorifiques*, mise en réserve pour subvenir pendant longtemps aux éventualités, afin que la vie de l'individu ne fût pas à la merci d'un repas trop retardé. Cette élimination faite, nous fournissons à l'animal une dose d'aliments que nous lui faisons digérer. Dès lors sa caloricité revient, et il peut se soutenir par lui-même, complétement si l'aliment est abondant, incomplétement, s'il

[1] D'autant plus une quantité minime, que ce refroidissement paraît l'effet de l'influence nocturne et non celui de la cessation du réchauffement. (Voyez l'appendice.)

[2] La tourterelle n° 9, morte au bout de 13 heures $\frac{1}{4}$ de réchauffement avec 14g,44 de blé humide dans le jabot, s'étant, depuis la fin de la 4e heure jusqu'à celle de la 12e, toujours tenue perchée sur son étuve, et ayant pourtant encore une chaleur d'environ 39°,0, devait avoir récupéré une partie de sa caloricité, puisque, dans une pareille position, elle devait ne recevoir que fort peu de chaleur de son étuve.

est en quantité insuffisante, comme dans nos premières expériences. Cette dose d'aliments pourrait donc être considérée comme la petite quantité de matière que nous brûlons dans le calorimètre, et dont la combustion, d'une part, produit la chaleur qui soutient la force nerveuse, la respiration, la circulation, et la digestion; et, d'autre part, fournit, pour résultat de la combustion, les différents produits sécrétoires et excrétoires. Il ne serait peut-être pas impossible de mesurer la quantité de chaleur produite par cette portion d'aliment; et j'aurais essayé de le faire, si j'avais pu pousser ces expériences jusqu'au terme que j'avais projeté.

§ IV. Terminaison du réchauffement.

Le réchauffement, au point où nous l'avons laissé (§ 2), c'est-à-dire à la sixième heure, a continué à s'opérer sans phénomènes nouveaux jusqu'aux environs de sa terminaison. L'on remarquait seulement, à mesure que les animaux reprenaient leur force et leur caloricité, qu'ils préféraient de plus en plus rester perchés sur le rebord de leur étuve, position qu'ils conservaient souvent pendant plusieurs heures consécutives, et dans laquelle ils ne recevaient que fort peu de chaleur. Il leur arrivait aussi de quitter l'étuve tout à fait, et, quand ils s'étaient plus ou moins refroidis, on les voyait souvent s'en rapprocher et se réchauffer contre ses parois.

Quant à leur mode de terminaison, les vingt-deux expériences de réchauffement que j'ai faites[1] se divisent en deux catégories distinctes, savoir : celles où le réchauffement s'est terminé par la mort, et celles où il a été suivi du rétablissement des animaux. C'est d'après ce point de vue que les vingt-deux expériences en question ont été classées dans le tableau suivant :

[1] Si à ces vingt-deux expériences nous ajoutons quatre autres essais de réchauffement (l'un sur une poule et les trois autres sur des pigeons) commencés trop tard pour offrir des chances de réussite, puisque les animaux sont morts peu de minutes après avoir été placés dans l'étuve, ainsi avant un réchauffement réel de corps, nous aurons en tout vingt-six expériences ou essais de réchauffement : c'est la totalité de ce que j'en ai fait.

TABLEAU N° 115.

	ESPÈCES D'ANIMAUX.	DURÉE du RÉCHAUFFEMENT.	CHALEUR ACQUISE au moment de la mort réelle.	MODE DE TERMINAISON.
	I. EXPÉRIENCES TERMINÉES PAR LA MORT.			
a Pendant qu'on ne surveillait pas le réchauffement.	Tourterelle n° 1.....	env. 5h	—	Mort par refroidissement (cessation de l'étuve.)
	——— 2.....	2	—	Mort par chaleur (excès de réchauffement).
	——— 6.....	4	—	Mort indéterminée.
	——— 7.....	8	—	*Idem.*
	——— 9.....	13	—	*Idem.*
	——— 14.....	65	—	*Idem.*
	——— 15.....	70	—	*Idem.*
	——— 16.....	11	—	Mort par refroidissement de l'étuve.
b Pendant qu'on surveillait le réchauffement.	Tourterelle n° 3.....	5h 0′	38°,1	Mort par syncope (pendant la prise de chaleur).
	——— 4.....	30 13	37 ,4	Mort par convulsions.
	——— 5.....	10 48	31 ,5	*Idem.*
	——— 8.....	10 57	34 ,9	*Idem.*
	——— 10.....	20 57	34 ,6	*Idem.*
	——— 11.....	1 42	38 ,4	*Idem.*
	——— 12.....	6 17	37 ,9	*Idem.*
	——— 13.....	25 5	33 ,9	*Idem.*
	Pigeon n° 29.....	2 48	40 ,9	*Idem.*
	——— 34	35 33	—	Mort par faiblesse.
	Cochon d'Inde n° 5....	2 44	—	*Idem.*
	II. EXPÉRIENCES TERMINÉES PAR LE RÉTABLISSEMENT.			
	Tourterelle n° 17.....	161h 0′	—	Rétablissement.
	Pigeon n° 23.....	7 0	—	*Idem.*
	——— 24	3 0	—	*Idem.*

Je ferai sur les résultats de ce tableau les observations ci-après :

EXPÉRIENCES DE LA PREMIÈRE CATÉGORIE.

1. La durée moyenne du réchauffement pour les dix-neuf expériences de cette catégorie, c'est-à-dire pour les animaux qui n'ont pas été rétablis, a été $= \frac{178^h, + 152^h,07}{8 + 11} = 17^h,4$, soit près de trois quarts de jour.

En comparant entre elles les expériences de cette catégorie, l'on remarque une très-grande différence dans la durée individuelle du réchauffement, différence dont les limites extrêmes sont $1^h,42$ et 70 heures. Cette grande inégalité dans la durée de la vie artificielle, comme nous le verrons bientôt, a essentiellement dépendu de l'alimentation pendant le réchauffement.

Quant aux deux groupes en lesquels nous avons subdivisé les expériences de cette première catégorie, savoir : celui (*a*) des animaux qui ont succombé pendant qu'on ne les surveillait pas ; et celui (*b*) des animaux qui sont morts pendant qu'on suivait leur réchauffement, la durée moyenne de la vie artificielle, pour le groupe (*a*), a été de 21 à 22 heures, et, pour le groupe (*b*), de $13^h,49$. Cette différence en faveur du groupe (*a*) tient surtout aux deux expériences tourterelles 14 et 15, dans lesquelles l'alimentation a tellement prolongé la vie, que très-probablement les animaux auraient été sauvés, si l'aliment leur eût été administré comme nous l'indiquerons plus tard.

2. Le retour à l'alimentation du corps est ce qui a le plus influé sur la durée de la vie artificielle ou de la vie pendant le réchauffement. Les expériences de la première catégorie nous fournissent à cet égard les résultats moyens suivants [1].

Chez les neuf animaux qui n'ont point été alimentés pendant le réchauffement (tourterelles 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11; pigeon 29;

[1] Abstraction faite de la tourterelle n° 1, chez laquelle le réchauffement a été suspendu immédiatement après l'ingestion de l'aliment, ce qui n'a pas permis de la faire servir à la détermination des moyennes.

cochon d'Inde 5), la durée moyenne de la vie artificielle a été de $\frac{72^h,2}{9} = 8$ heures à très-peu près.

Au contraire, chez les neuf animaux (tourterelles 3, 13, 14, 15, 16, 9, 12, 10; pigeon 34) qui ont été alimentés pendant le réchauffement [1], ou qui, au moment de la mort imminente, avaient encore dans le jabot une certaine quantité de blé qui a servi à les alimenter pendant la vie artificielle, la durée moyenne du réchauffement a été de $\frac{252^h,9}{9} = 28^h,1$. Ainsi, la vie artificielle, chez eux, a été $3\frac{1}{2}$ fois plus longue que chez les animaux qui n'ont point été alimentés.

Et pourtant l'alimentation de ces animaux avait été bien faible; car, pour les tourterelles, par exemple, en nous bornant à celles qui ont été nourries de blé (n^{os} 3, 13, 14, 15, 16, 9, 12), l'on trouve que la quantité moyenne de l'aliment, pour chacune d'elles, a été de $\frac{38^g,35}{7} = 5^g,5$ de blé, pendant un réchauffe-

[1] L'alimentation totale de chacun de ces neuf animaux pendant la durée entière du réchauffement se récapitule comme suit :

TABLEAU N° 116.

		ALIMENT.
		grammes.
Tourterelle n° 3..	Blé ingéré pendant le réchauffement.....	0,81
——— 13..	*Idem*.....	1,29
——— 14..	*Idem*.....	10,04
——— 15..	*Idem*.....	8,15
——— 16..	*Idem*.....	3,10
——— 9..	Blé trouvé dans l'estomac et le jabot après la mort, et pesé après dessiccation (*).....	8,74
——— 12..	*Idem* (*).....	6,22
——— 10..	Gelée de viande ingérée pendant le réchauffement....	7,45
Pigeon n° 34.....	Blé et farine ingérés pendant le réchauffement.....	34,19

(*) Ingéré pendant la série d'alimentation insuffisante (tableau 30), préalablement au réchauffement artificiel.

ment de $\frac{196^h,3}{7} = 28$ heures de durée moyenne; ce qui revient à une alimentation de $4^g,7$ de blé pour vingt-quatre heures, c'est-à-dire au tiers environ du poids normal de l'aliment des animaux de cette espèce. (Voyez le tableau n° 1.)

Ainsi, avec un aliment très-insuffisant, et même qui n'a été que partiellement digéré, puisqu'on en a retrouvé une portion dans le jabot, après la mort réelle, le retour à l'alimentation a plus que triplé la durée du réchauffement. Aussi la vie artificielle s'est-elle quelquefois prolongée pendant un temps plus long que celui de la totalité de l'inanitiation chez des individus de même espèce. (Voyez tableau n° 7.)

3. Les animaux inanitiés et réchauffés continuent à évacuer, et à évacuer beaucoup, alors même qu'ils ne prennent pas de nourriture. Il résulte de là une perte de poids qui s'ajoute à celle qui a précédé le réchauffement, et qui a pour particularité d'être beaucoup plus rapide que cette dernière, quoique moins forte cependant dans sa totalité. Nous allons entrer à cet égard dans des détails un peu circonstanciés.

a. Et d'abord, quant à la valeur relative de cette perte, pour nous en former une juste idée, déterminons la perte horaire moyenne [1] de nos animaux, chez les mêmes individus, avant et pendant le réchauffement; et rapprochons les uns des autres les résultats que l'on obtient ainsi; nous en formerons le tableau suivant :

[1] Je substitue ici la perte horaire à la perte diurne, parce que le réchauffement se compte plutôt par heures que par jours.

TABLEAU N° 117.	PERTE HORAIRE MOYENNE. Avant le réchauffement.	Pendant le réchauffement.
	grammes.	grammes.
Tourterelle n° 2	0,35	0,98
——— 4	0,55	0,61
——— 5	0,31	0,56
——— 6	0,35	0,52
——— 7	0,38	0,98
——— 8	0,41	0,82
——— 9	0,13	0,82
——— 10	0,34	0,64
——— 11	0,20	1,29
——— 12	0,46	0,81
——— 13	0,51	0,70
——— 14	0,31	0,17
——— 15	0,33	0,26
——— 16	0,26	0,60
MOYENNE	0,35	0,70

Ce tableau nous montre que les moyennes horaires de la perte de poids, pendant la période d'abstinence et pendant celle de réchauffement, sont entre elles comme 0,35 : 0,70, soit = 1 : 2. Ainsi, en temps égal, l'animal réchauffé perd le double de ce qu'il perdait avant le réchauffement, et cela, quoique sa chaleur acquise reste inférieure à sa chaleur animale naturelle [1]. Rien de surprenant alors que les vaisseaux achèvent de se vider presque complétement [2], et que, malgré le réchauffement, la mort sur-

[1] Cette augmentation de perte pendant la vie artificielle ne paraît que la continuation de celle qui s'établit en général pendant le dernier tiers de l'inanitiation, c'est-à-dire pendant la période qui précède immédiatement le réchauffement. (Voyez tableau 8.)

[2] A l'autopsie de mes animaux réchauffés, à peine retrouvais-je quelque peu de sang dans le cœur et les gros vaisseaux. Le reste du corps était en général aussi exsangue que si l'animal fût mort d'hémorrhagie.

vienne avec assez de promptitude, le point de départ étant déjà celui de la mort imminente par inanition.

Remarquons d'ailleurs que dans ce tableau nous avons fait entrer les animaux que nous avons nourris pendant le réchauffement (ce qui diminuait la perte), tandis que la plupart d'entre eux ne l'étaient pas dans la partie de l'expérience préalable au réchauffement.

Appliquons les résultats de ce tableau à la tourterelle n° 17, qui a été sauvée, et observons que son poids minimum a eu lieu, malgré le retour à l'alimentation, au bout de 60 heures de réchauffement, époque où l'animal a le plus périclité. Déterminant alors la perte horaire moyenne, tant pour la période d'abstinence que pour ces 60 premières heures de réchauffement, nous aurons :

Période d'abstinence :

Pour $168^h,78$, perdu $59^g,76$, soit $0^g,35$ par heure;

Portion de la période de réchauffement :

Pour 60 ,00, perdu 6 ,93, soit 0 ,12 par heure.

L'on voit que, chez cet animal, la perte pendant la portion la plus critique du réchauffement, loin d'être le double de ce qu'elle était dans la période d'abstinence, n'a été que le tiers de ce qu'elle se trouvait alors; ce qui a bien contribué à faciliter le rétablissement.

Chez deux tourterelles du tableau ci-dessus (tourterelles 14 et 15), la perte, pendant le réchauffement, n'a été, en moyenne, que les deux tiers de ce qu'elle était pendant la période d'abstinence. Ces animaux étaient, par conséquent, dans des conditions très-favorables pour être sauvés; et en effet, leur digestion se faisait bien, leur caloricité était rétablie, et ils ne sont morts l'un et l'autre que de la 62^e à la 70^e heure du réchauffement. Ils avaient donc bien des chances de rétablissement.

b. Quant à la valeur absolue de la perte pour l'ensemble de de la vie artificielle, formons le tableau de toutes celles de nos

expériences sur les tourterelles où la mort est survenue pendant le réchauffement, en n'excluant de là que les tourterelles 1 et 3, où les pesées propres à déterminer la perte de poids n'ont point été faites en temps opportun. Nous obtiendrons ainsi les résultats suivants :

TABLEAU 118.	TEMPS POUR EFFECTUER la perte de poids.		POIDS DU CORPS.			PERTE INTÉGRALE proportionnelle.	
	Durée de l'inanitiation — P — P	Durée du réchauffement. — P — P')	Poids initial. — P.	Poids de mort imminente. — P'.	Poids de mort réelle. — P''.	$\frac{P-P'}{P.}$	$\frac{P'-P''}{P.}$
	heures.	heures.	grammes.	grammes.	grammes.		
Tourterelle n° 2..	144 ,00	2 ,12	142 ,52	92 ,66	90 ,59	0 ,350	0 ,022
——— 4..	48 ,35	30 ,22	117 ,20	90 ,84	72 ,33	0 ,225	0 ,204
——— 5..	138 ,00	10 ,80	132 ,54	89 ,16	83 ,07	0 ,327	0 ,068
——— 6..	116 ,40	4 ,00	124 ,64	84 ,43	82 ,36	0 ,323	0 ,024
——— 7..	122 ,77	7 ,87	146 ,40	99 ,65	91 ,94	0 ,319	0 ,077
——— 8..	48 ,00	10 ,95	117 ,07	97 ,45	88 ,45	0 ,168	0 ,092
——— 9..	389 ,55	13 ,25	141 ,35	89 ,61	78 ,74	0 ,366	0 ,121
——— 10..	238 ,12	20 ,95	192 ,76	110 ,85	96 ,48	0 ,425	0 ,130
——— 11..	146 ,53	1 ,70	136 ,75	108 ,00	105 ,80	0 ,210	0 ,020
——— 12..	120 ,00	(*) 4 ,33	151 ,00	96 ,15	92 ,66	0 ,363	0 ,036
——— 13..	132 ,15	25 ,08	178 ,00	110 ,30	92 ,72	0 ,381	0 ,159
——— 14..	268 ,75	64 ,50	179 ,42	95 ,70	85 ,02	0 ,467	0 ,112
——— 15..	277 ,13	70 ,00	190 ,82	100 ,32	81 ,91	0 ,474	0 ,183
——— 16..	237 ,72	10 ,75	141 ,09	79 ,84	73 ,43	0 ,434	0 ,080
MOYENNE.....	173 ,39	19 ,75	149 ,40	96 ,07	86 ,82	0 ,345	0 ,095

(*) Pour cet animal, je n'ai pu établir les proportions que sur les premières 4h 20' du réchauffement, et non pas sur sa totalité (= 6h 17').

L'on voit, d'après ce tableau :

α. Que, depuis le début du réchauffement jusqu'au moment

de la mort, c'est-à-dire en $19^h,75$, les animaux réchauffés ci-dessus ont perdu, en moyenne, les 0,095 de leur poids, et qu'ainsi leur perte s'est effectuée à raison de 0,1 pour 21 heures;

6. Que, pour passer de l'état normal à celui de mort imminente, c'est-à-dire en $173^h,4$, les mêmes animaux avaient perdu les 0,34 de leur poids; qu'ainsi cette partie de leur perte s'était effectuée à raison de 0,1 dans 51 heures;

γ. Que la perte avant le réchauffement et celle pendant sa durée sont entre elles, quant à la rapidité, dans le rapport de 21 : 51, c'est-à-dire = 1 : 2,5 environ[1].

Cela montre que, pendant le réchauffement, les fonctions sécrétoires conservent une grande activité, et que, dans ce corps desséché par l'abstinence, le peu de liquides qui restent, au lieu d'être retenus pour ses propres besoins, sont rapidement éliminés par les organes excréteurs. Et c'est là, en effet, presque la seule difficulté du traitement des animaux inanitiés que l'on réchauffe: l'on ingère des aliments, et la digestion se fait; mais le corps excrète; il continue à baisser; la perte de poids nous gagne, et la mort nous devance.

Aussi, ceux des animaux chez lesquels, au rétablissement près, le réchauffement a le mieux réussi, et où la vie a été le plus prolongée, sont précisément ceux qui ont le plus lentement perdu, c'est-à-dire ceux chez lesquels la perte horaire a été au minimum; quoique chez eux la perte absolue ait pu finir par dépasser la moyenne générale, ainsi qu'on le voit par les deux derniers tableaux (tourterelles 14 et 15).

Chez la tourterelle 17, qui a été rétablie, non-seulement la perte horaire ou relative a été très-faible, mais la perte absolue elle-même l'a été également, puisque, calculée à la 60e heure, c'est-à-dire pour tout le temps que l'animal a périclité, $\frac{P' - P''}{P'}$

[1] La différence qui existe entre ce résultat et la moyenne fournie par le tableau précédent tient à ce que, dans ce cas-ci, le 0,1, que nous avons adopté pour terme de comparaison, se rapporte tantôt à l'unité P et tantôt à l'unité P'; or, au lieu d'être égales, ces deux unités sont entre elles = 149,40 : 96,07, c'est-à-dire = 1,555 : 1. (Tableau 118.)

= 0,077. Ainsi, non-seulement l'animal digérait bien, mais il réunissait encore la double condition qui rendait cette digestion fructueuse, celle de perdre peu, soit d'une manière absolue, soit d'une manière relative.

4. Quant au mécanisme de la mort chez les animaux réchauffés, nous ferons les observations suivantes (tableau 115) :

a. Le degré de chaleur acquise auquel sont morts les animaux du second groupe de la première catégorie prouve que, chez tous, le réchauffement artificiel a été suffisant, sinon pour redonner au corps son degré normal de chaleur animale, du moins pour empêcher la mort par refroidissement (voyez expérience 33). Ainsi, pendant la vie artificielle, le mécanisme de la mort a été tout différent de celui qui est la conséquence de la simple inanition (le refroidissement).

b. Pour arriver à la détermination du mécanisme de la mort pendant la vie artificielle, nous laisserons de côté toutes les expériences du groupe (*a*), dans lesquelles la mort est survenue pendant que les animaux n'étaient pas actuellement observés, et nous ne nous occuperons que de celle du groupe (*b*). Nous obtenons, à cet égard, les résultats suivants :

α. La tourterelle n° 3 est morte de syncope, pendant l'introduction du thermomètre dans le cloaque. Nous avons déjà vu, dans l'inanitiation et préalablement au réchauffement, plusieurs cas de syncope survenus d'une manière semblable.

Le pigeon n° 34 est mort de faiblesse.

Le cochon d'Inde n° 5 est mort de faiblesse.

ϐ. Chez les sept autres tourterelles et le pigeon n° 29, il y a eu généralement :

1. Au préalable, diminution progressive de la sensibilité et des forces musculaires : ainsi, par exemple, ils devenaient de plus en plus endormis ; ils perdaient successivement la faculté de se tenir perchés et celle de se tenir sur leurs pattes, et ils finissaient par rester étendus, la tête pendante et l'œsophage serré.

2. Puis des attaques successives et rapprochées de convul-

sions, quelquefois violentes (tourterelle 8), d'autres fois modérées (tourterelles 4, 5, 10, 11, 12, 13), d'autres fois légères (pigeon 29). Elles étaient, en général, accompagnées d'un renversement opisthotonique du corps.

3. Collapsus complet dans l'intervalle des attaques.

4. Une extension générale du corps, spasmodique et non convulsive, qui marquait communément l'instant de la mort (tourterelles 8, 10, 11, 13; pigeon 29).

5. Enfin la mort elle-même, qui a eu lieu par une chaleur acquise, en moyenne=36°4, c'est-à-dire assez élevée pour que le refroidissement ne fût point la cause prochaine de la cessation de la vie.

Cette mort, comme on voit, a pour caractère essentiel *les convulsions*, caractère qui la rattache à la mort par anémie, suite d'hémorragie, c'est-à-dire à une mort où la vacuité du système sanguin amène la cessation de l'action du cœur, pendant que le système nerveux devient l'*ultimum moriens*, et réagit jusqu'à la fin. L'on conçoit bien, en effet, que l'inanition, lorsqu'elle est poussée jusqu'au dernier terme du possible, amène une mort du genre de celle par hémorragie, puisqu'en dernier résultat l'inanitiation n'est qu'une destruction graduelle du sang.

En recourant aux résultats présentés antérieurement (p. 569), l'on trouve bien que les animaux inanitiés qui meurent avant le réchauffement artificiel présentent quelquefois une partie des symptômes de la mort par hémorragie, c'est-à-dire des convulsions. Mais, chez eux, ces symptômes sont essentiellement dominés par ceux de la perte de la caloricité, parce que le froid qui s'empare graduellement du corps endort insensiblement le système nerveux et lui ôte ses pouvoirs de réaction. Aussi ces spasmes et ces convulsions ne s'observent-ils que rarement dans la mort qui n'a point été précédée par le réchauffement, tandis qu'ils sont constants, ou à peu près, dans celle après le réchauffement.

EXPÉRIENCES DE LA DEUXIÈME CATÉGORIE.

Avant de présenter les observations que j'ai à faire sur les expériences de la seconde catégorie du tableau 115, c'est-à-dire sur les trois animaux rétablis par le réchauffement et l'alimentation, je renverrai à l'appendice de ce mémoire, pour y voir, avec quelque détail, le narré de chacune des trois expériences en question (tourterelle 17, pigeons 23 et 24).

Je ferai sur ces expériences les observations suivantes :

1. La durée du réchauffement artificiel chez ces trois animaux a été on ne peut pas plus différente, puisqu'elle a varié entre 3 et 161 heures, c'est-à-dire dans le rapport de 1 : 54.

2. Quant aux variations de poids du corps, nous avons fait observer plus haut que ceux de nos animaux qui ne se sont point rétablis avaient éprouvé une perte de poids deux fois plus rapide pendant la période de réchauffement que pendant celle de l'inanitiation qui l'avait immédiatement précédée; tandis que chez ceux qui se sont rétablis ou qui avaient eu chance de l'être, la perte pendant le réchauffement avait considérablement diminué. Ainsi, pour la tourterelle n° 17, pendant les 60 premières heures du réchauffement, la perte horaire avait été le tiers; et, pour les tourterelles 14 et 15, en moyenne, les deux tiers de sa valeur avant le réchauffement.

Mais, pour que le rétablissement ait lieu, ce n'est point assez que la perte horaire soit un minimum; puisqu'alors même qu'elle deviendrait = 0, l'animal ne se trouverait que replacé dans l'état où il était lors de la mort imminente. Pour qu'il puisse y avoir rétablissement, il faut que la perte se transforme en une augmentation de poids. Ainsi, chez notre 17e tourterelle, jusqu'à la 60e heure, la perte horaire était = $0^{g},12$, comme nous l'avons déjà dit. Mais, depuis la 60e heure jusqu'à la 168e, c'est-à-dire jusqu'à la fin du réchauffement et un peu au delà, le poids du corps a augmenté de $23^{g},96$, en sorte que, pour ces 108 der-

nières heures, l'augmentation horaire, en moyenne, a été = $0^g,22$, et que, pour les 168 heures du réchauffement tout entier, elle a été = $0^g,10$.

Quant aux pigeons 23 et 24, je n'en dis rien, parce qu'ils n'ont pas été pesés avant et après le réchauffement.

3. Le poids de l'aliment ingéré pendant le réchauffement mérite un examen tout particulier, à cause de son influence sur la perte ou sur l'augmentation de poids du corps.

Pendant la totalité de son réchauffement, la tourterelle n° 17 a pris :

TABLEAU N° 119.	BLÉ INGÉRÉ.	EAU BUE.
	grammes.	grammes.
1er jour du réchauffement	5,71	7,31
2e *idem.*	6,67	6,41
3e *idem.*	5,31	10,04
4e *idem.*	7,84	10,23
5e *idem.*	11,66	16,12
6e *idem.*	14,12	6,86
7e *idem.*	13,92	8,35
SOMME	65,23	65,32

Ce qui donne, pour la moyenne de l'alimentation journalière $\begin{cases} \text{blé...} = 9^g,30 \\ \text{eau...} = 9,33 \end{cases}$ c'est-à-dire environ les $\frac{2}{3}$ de l'alimentation normale.

Il est important de remarquer cependant que cette alimentation n'a point été uniforme pendant toute la durée du réchauffement : ainsi, en comparant l'alimentation moyenne des quatre premiers jours à celle des trois derniers, l'on a :

TABLEAU N° 120.	ALIMENTATION QUOTIDIENNE.	
	Blé.	Eau.
	grammes.	grammes.
Moyenne des quatre premiers jours	6,38	8,50
Moyenne des trois derniers jours	13,23	10,44

Ainsi, pour le commencement du réchauffement, moins de moitié de la quantité normale; et, pour la fin, l'alimentation normale à peu près tout entière, au moins quant à l'aliment proprement dit.

Il résulte de là que, pendant la première moitié du réchauffement, l'animal n'a été soumis qu'à une alimentation insuffisante, alimentation qui n'eût point été assez forte pour maintenir son poids, et qui devait l'être encore moins pour le réparer. Aussi, pendant cette alimentation, le poids du corps a-t-il continué à baisser, et a-t-il fini par atteindre son minimum le plus absolu (60 heures); et ce n'est que lorsque l'alimentation a été ramenée à sa quantité normale, qu'il a recommencé à dépasser le poids qu'il avait au moment de la mort imminente, et que l'animal n'a plus périclité. L'on voit maintenant la cause de la difficulté et de la lenteur du rétablissement de celui-ci.

Au contraire, chez les deux pigeons rétablis (nos 23 et 24), dès le début du réchauffement, l'on a ingéré un poids d'aliments égal à celui de l'alimentation quotidienne normale. Une fois cet aliment parvenu dans le jabot, ce que le spasme de l'œsophage n'a pas laissé s'effectuer immédiatement, la digestion a de suite recommencé; et, s'opérant sur une quantité d'aliments suffisante, le rétablissement s'est accompli avec rapidité; de telle façon, qu'au lieu de continuer le réchauffement pendant sept jours, comme pour la tourterelle n° 17, les deux animaux en question ont pu se maintenir par eux-mêmes, le premier au bout de sept

heures, et le dernier au bout de seulement trois heures de réchauffement.

L'ingestion d'une *quantité d'aliments suffisante*, c'est-à-dire pas trop éloignée de celle de l'alimentation normale, quelque peu disposé que l'estomac paraisse d'abord à la recevoir, me paraît donc la condition essentielle pour arriver avec promptitude et sûreté au rétablissement des animaux inanitiés et réchauffés. Sans cela, malgré le réchauffement, le poids du corps continuerait à baisser, et l'animal finirait par périr.

Si je ne craignais pas d'allonger encore davantage ce mémoire, déjà si étendu, j'appuierais cette assertion par la discussion de chacune de nos neuf autres expériences (tableau 116) d'animaux alimentés mais non rétablis, et je ferais voir que c'est à l'insuffisance de l'alimentation qu'est dû le non-rétablissement de ces animaux. Il en est trois cependant sur lesquels je dois donner quelques explications, savoir :

Le pigeon n° 34, qui paraît faire exception à ce que je viens de dire, parce que, pendant le réchauffement, son alimentation moyenne, tant en blé qu'en farine, s'est élevée, par vingt-quatre heures, à $23^{g},08$; en sorte qu'à une petite quantité près, elle a égalé le poids normal de l'aliment quotidien des mêmes animaux (tablaux 1 et 4). Mais cette exception n'est qu'apparente, parce qu'en opposition avec ce que j'ai toujours vu arriver dans les réchauffements prolongés, l'aliment introduit n'a réellement point été digéré, et que, pour ne parler que du blé, l'on a retrouvé dans le jabot, lors de l'autopsie, le nombre précis (= 400) de graines de blé qu'on avait ingéré pendant tout le réchauffement, aucune d'elles n'étant parvenue jusque dans l'estomac[1].

Les tourterelles n^{os} 9 et 12 paraissent également faire excep-

[1] Cet animal, à l'autopsie, n'a point paru dans un état complétement normal. Son jabot, outre les 400 graines de blé, contenait une bouillie blanchâtre de mauvaise odeur, reste de $12^{g},95$ de farine ingérés pendant les cinq premières heures de réchauffement, et dont une grande partie avait été revomie accidentellement : le blé lui-même n'avait été ingéré qu'à dater du commencement de la 11^{e} heure. J'ai observé aussi des stries de matière blanchâtre, comme puriforme, dans le voisinage du cœur, du foie et de l'estomac. Les intestins se déchiraient en

tion à la règle ci-dessus, puisqu'elles sont mortes ayant encore une certaine quantité de blé dans le jabot. Mais cela a dépendu de ce que leurs fonctions digestives avaient été fortement altérées préalablement au réchauffement, puisqu'elles étaient arrivées au terme de mort imminente par inanition, avec cette même quantité de blé non digéré dans le jabot (tableau 29). Rien d'étonnant alors que le réchauffement artificiel n'ait pas pu rétablir leur digestion, puisqu'elles ne digéraient déjà plus ou presque plus avec leur chaleur naturelle.

4. J'ai fait en tout vingt-six expériences de réchauffement artificiel : de ce nombre j'en retranche quatre (trois pigeons et une poule) dans lesquelles le réchauffement, eu égard au volume de l'animal, a été commencé trop tard, les animaux étant morts pendant les premières minutes de leur séjour dans l'étuve et sans avoir été réchauffés. Restent donc vingt-deux expériences, sur lesquelles trois rétablissements.

Ce serait là une proportion de rétablissements qui ne serait pas sans importance, surtout quand on réfléchit que nous n'avons pris nos animaux que peu de minutes avant le moment où ils allaient expirer. Mais cette proportion n'est point la véritable. Les expériences précédentes ne sont que des expériences de recherche, faites dans le but de *découvrir* ce qui se passe, et non dans celui de *guérir* des animaux inanitiés; et il en est tellement ainsi, que ce n'est qu'à la 13e d'entre elles que je me suis assuré que la digestion pouvait se rétablir par le réchauffement artificiel. Ce n'est, par conséquent, que depuis lors que j'ai pu songer à rétablir les animaux. Or, dans les neuf expériences subséquentes, il en est deux dans lesquelles il n'y a pas eu d'alimentation, et une dans laquelle l'animal est mort par le refroidissement acci-

les enlevant, et étaient énormément gorgés de matières liquides et verdâtres; du reste, le tissu de tous les grands viscères était en bon état.

Les altérations en question sont-elles l'effet du réchauffement? je ne le pense pas, puisque, dans des réchauffements bien plus prolongés que celui-là, je n'ai rien observé de semblable : elles tenaient probablement à quelque lésion accidentelle antérieure à ces expériences.

dentel de l'étuve, quand la digestion commençait à se rétablir[1]. Restent donc six expériences, sur lesquelles trois rétablissements[2]; proportion considérable assurément, et qui sans doute l'aurait été davantage encore si, pendant leur réchauffement, nos animaux avaient été suffisamment nourris.

Pour appliquer ces expériences à des animaux plus gros, je crois qu'il faudrait commencer le réchauffement d'autant plus promptement que le volume de l'animal est plus considérable; car, avec une même source de chaleur, il faut, pour en pénétrer le corps et le mettre sous son influence, un temps d'autant plus long, que le corps lui-même est plus volumineux. Si l'on ne voulait pas modifier le temps, il faudrait modifier la source de chaleur, et substituer, par exemple, le bain chaud à l'étuve.

Bichat, et les physiologistes qui se sont occupés du même sujet avant et après lui, ont jeté le plus grand jour sur les causes de la mort, en les classant d'après les fonctions qui servent à l'introduire. En divisant la mort en mort par le cerveau, mort par le poumon et mort par le cœur, ils parcouraient la série des trois fonctions vitales, et semblaient ainsi avoir épuisé la question.

Et cependant, quand on arrive aux faits, il est positif qu'on n'explique par là qu'un petit nombre de cas de mort, et que la grande majorité de ceux soumis à notre observation échappe à cette classification. Même dans des cas qui sembleraient le mieux se prêter à cette division, dans la phthisie pulmonaire, par exemple, qui pourrait dire qu'en général la mort arrive par asphyxie; puisque le poumon, le jour de la mort, n'est ordinai-

[1] Il avait digéré quatre grains de blé au moment de la mort.

[2] Les trois autres cas sont:

Les tourterelles 14 et 15, qui n'ont eu qu'une alimentation insuffisante, et qui, malgré cela, ne sont mortes qu'entre la 63e et la 70e heures du réchauffement.

Le pigeon n° 34, mort la 36e heure du réchauffement, sans avoir digéré la moindre partie du blé qui lui avait été ingéré.

rement pas plus lésé qu'il ne l'était la veille, et que, la veille, il suffisait à l'oxygénation du sang? D'un autre côté, qui n'a pas été témoin de ces autopsies, dans nombre de maladies fébriles, dans lesquelles on ne retrouve d'autre altération morbide que des lésions souvent des plus insignifiantes du canal intestinal, lésions que, sans faire violence à son jugement, l'on ne saurait considérer comme des causes suffisantes de mort?

C'est que la classification de Bichat n'explique pas tout, et qu'aux trois modes qu'il indique il faut en joindre au moins un quatrième, la mort par l'appareil digestif, ou l'inanitiation, dont nous venons de tracer l'histoire. Et en effet, que l'on veuille bien y réfléchir; puisque l'alimentation insuffisante a, sauf pour la durée, identiquement les mêmes effets d'inanitiation que l'abstinence absolue, il est clair que, dès que l'alimentation devient, je ne dirai pas suspendue, mais seulement diminuée, la question d'inanitiation se soulève, et que l'inanition complète n'est plus qu'une affaire de temps.

L'inanitiation, on peut donc le dire, est la cause de mort qui marche de front et en silence avec toute maladie dans laquelle l'alimentation n'est pas à l'état normal. Elle arrive à son terme naturel, quelquefois plus tôt et quelquefois plus tard que la maladie qu'elle accompagne sourdement, et peut devenir ainsi maladie principale, là où elle n'avait d'abord été qu'épiphénomène. On la reconnaîtra, dès qu'on le voudra, au degré de destruction des chairs musculaires, et l'on pourra, à chaque instant, mesurer son importance actuelle par le poids relatif du corps[1].

Je soulève ici des questions du plus haut intérêt dans l'état actuel de la médecine, mais la grande étendue de ce mémoire ne me permet pas de les examiner. Je compte cependant y revenir un jour.

[1] Voir la fin de l'appendice.

APPENDICE.

TOURTERELLE N° 17. (Voy. tabl. 7, 8, 76.)

Une tourterelle adulte, du poids de 149^{g},44, a été inanitiée par la privation absolue de la nourriture et des boissons. Arrivée au terme de mort imminente, elle a été soumise à un réchauffement artificiel qui a été prolongé jusqu'à complet rétablissement. Les résultats qu'elle a fournis ont été obtenus, soit pendant l'inanitiation, soit pendant le réchauffement, soit enfin pendant l'état normal qui a suivi ce réchauffement.

	TEMPS. Jours.	Heures.	Minutes.	POIDS du corps.	CHALEUR ANIMALE.	ALIMENTATION. Blé.	Eau.	OBSERVATIONS.
I. INANITIATION.								
				gramm.	degrés.	gramm.	gramm.	
État initial...	0	0	0	149,44	43,4	//	//	
(Naples, 4 avril 1828, 5^{h} 32′ p. m.)	1	//	//	139,02	42,8	//	//	
	2	//	//	132,93	41,7	//	//	
	3	//	//	127,56	41,5	//	//	
	4	//	//	120,89	40,5	//	//	
	5	//	//	112,08	40,5	//	//	
	6	//	//	101,85	40,1	//	//	L'animal est plus abattu.
Mort imminente... (11 avril, 6^{h} 19′ à 26′ p. m.	7	//	//	89,68	22,9	//	//	Arrivé à ce terme de mort imminente, l'animal reste immobile, étendu comme on le place, dans un état de prostration et de refroidissement complet; les yeux non clignotants, mais encore sensibles à l'attouchement du doigt; la respiration relativement accélérée; en un mot dans un état qui paraît très-voisin de la mort. L'iris, l'intérieur de la bouche et les pattes ont paru pâlir en proportion de la destruction du sang.

	TEMPS. Jours.	Heures.	Minutes.	POIDS du corps.	CHALEUR ANIMALE.	ALIMENTATION. Blé.	Eau.	OBSERVATIONS.
II. RÉCHAUFFEMENT.								
				gramm.	degrés	gramm.	gramm.	
Début du réchauffement.	0	0	0	89,68	22,9	0	0	L'animal, dès la fin de la 2e minute, s'est mis à fermer les yeux, et la réanimation s'est faite successivement et comme à l'ordinaire.
(11 avril, 6h 27′ p. m.)	//	//	30	//	//	//	//	Vers le milieu de cette première heure, il a cherché à se percher sur le rebord de son étuve; mais il n'a pas pu s'y maintenir.
		1	//	//	//	0,65	//	Le blé qu'on lui ingère s'arrête dans le pharynx, sans arriver dans le jabot.
	//	1	7		//		0,39	Il boit en lui plongeant le bec dans l'eau; après avoir bu, le blé descend dans le jabot.
		1	14	//				Il se perche sur le rebord de son étuve, et réussit à s'y fixer, après beaucoup de vacillations.
		4	18	//			1,36	Il est resté tranquille sur son étuve pendant la 2e, la 3e et la 4e heure. Il boit un peu d'eau.
		5		//		0,65	0,13	Ingéré du blé, et bu pour le faire descendre.
	//	10	//	//		//	//	Il reste perché sur le rebord de son étuve pendant la 6e, la 7e, la 8e, la 9e et la 10e heure.
	//	11	8	//	//	0,65	0,58	Il quitte son étuve pour se mettre à marcher et à voler; mais comme cela ne paraît dépendre que du besoin de nourriture, on lui fait l'ingestion ci-contre, après laquelle il reste tranquille sur son étuve.
		12		86,38				Il est très-bien; il quitte son étuve à différentes reprises, vole à plusieurs pieds de distance et en s'élevant en l'air.
	//	12	30	//	//	1,30	0,26	Pris blé et eau. — Tranquille la 13e et la 14e heure. Agité la 15e heure.
		15	30	//	//	//	//	Il rend des fèces qui, pour la première fois, présentent des traces de pelures de blé.
	//	16	//	//	//	1,42	1,42	Pris blé et eau, en buvant pour la première fois avec avidité. Il reste tranquille sur son étuve après cette ingestion.
	//	17	//	//	//		//	Fèces chargées de beaucoup de pelures de blé teintes en vert.
		20	//	//	//	1,04	3,17	Pris blé et eau, en buvant avec avidité.
	1	//	//	87,93	40,3	//	//	Il est parfaitement bien.
	1	12		84,69	//	2,01	2,07	Pris blé et eau en deux fois. — Tranquille perché sur son étuve.

	TEMPS. Jours.	Heures.	Minutes.	POIDS du corps.	CHALEUR ANIMALE.	ALIMENTATION. Blé.	Eau.	OBSERVATIONS.
				gramm.	degrés.	gramm.	gramm.	
	2	"	"	87 ,15	40 ,3	4 ,66	4 ,34	Pris blé et eau en trois fois. — Tranquille sur l'étuve, sauf quand il a faim.
	2	4	"	"	"	"	"	Les fèces perdent la teinte verte et deviennent d'un jaune naturel.
	2	5	"	"	"	"	"	Il rejette 2 grammes 91 de blé humide, qu'on lui réingère huit heures plus tard, sans le coucher de rechef dans la colonne de l'alimentation.
	2	12	"	82 ,75	"	2 ,85	2 ,98	Pris blé et eau en deux fois. — Tranquille sur son étuve.
	3		"	87 ,48	40 ,5	2 ,46	7 ,06	Pris blé et eau. — Tranquille et très-bien.
	3	12	"	88 ,00	"	4 ,99	7 ,06	Pris blé et eau. — Tranquille sur l'étuve; bouche et iris encore très-pâles.
	4	"	"	89 ,87	41 ,0	2 ,85	3 ,17	Pris blé et eau. — Bouche un peu moins pâle; du reste très-bien.
	4	12	"	90 ,84	"	2 ,85	6 ,99	Pris blé et eau en deux fois — Plein de vie et de force; il ne quitte plus l'étuve, depuis qu'on le nourrit régulièrement.
	5	"	"	99 ,07	41 ,6	8 ,81	9 ,13	Pris blé et eau. — Le blé de Turquie est substitué au blé ordinaire depuis et compris l'ingestion de ce matin. On lui ingère aussi 0^{g},4 de carbonate de chaux.
	5	12	"	96 ,28	"	4 ,47	1 ,36	Pris blé de Turquie et eau. — Iris moins pâle, plus orangé vers la grande circonférence.
	6	"	"	103 ,73	41 ,0	9 ,65	5 ,50	Pris blé de Turquie et eau. — L'iris devient orangé dans une plus grande étendue; la bouche devient plus rosée aussi.
	6	3	"	"	"	"	"	Il a rejeté quelques graines de blé de Turquie, qu'on lui réingère trois ou quatre heures après, sans les faire reparaître dans la colonne de l'alimentation.
	6	12	"	101 ,59	"	4 ,99	1 ,36	Pris blé de Turquie et eau. — Il quitte souvent son étuve.
Cessation du réchauffement. (Naples, 18 avril 1828, à 11^{h} 40' a. m.)	7	"	"	106 ,71	41 ,8	8 ,93	6 ,99	Pris blé de Turquie et eau. — L'iris est encore plus coloré qu'hier. De rechef il a quitté très-souvent son étuve pour se percher dans le voisinage, et ce n'était pas la faim qui l'y engageait, puisqu'il avait le jabot plein d'aliments et qu'il restait tranquille dès qu'il n'était plus sur l'étuve. C'était un signe qu'il pouvait se soutenir par lui-même sans chaleur étrangère. Aussi l'on éteint l'étuve au bout de 161 heures (= 6 jours 17 heures) de réchauffement. — Sept heures après la cessation du réchauffement, la chaleur animale était = 41° 8, comme il est indiqué ci-contre.

	TEMPS. Jours.	Heures	Minutes.	POIDS du corps.	CHALEUR animale.	ALIMENTATION. Blé	Eau.	OBSERVATIONS.
III. ÉTAT NORMAL.								
								Le lendemain du jour où l'étuve a été éteinte, je me suis remis en route pour le nord de l'Italie, la Suisse et l'Allemagne. Pendant ce trajet, l'on prit chaque jour, jusqu'à la fin du second mois, le poids de l'animal, celui de ses ingesta, et sa chaleur animale. Je joins ci-contre l'extrait des résultats obtenus ainsi :
				gramm.	degrés.	gramm.		
Molo di Gaeta. (19 avril 1828.)	8	//	//	97,58	42,2	10,75	à volonté.	
Velletri.....	9	//	//	99,07	42,0	8,35	*Idem.*	
Rome.....	10	//	//	102,24	41,0	13,53	*Idem.*	L'iris est beaucoup plus foncé qu'auparavant.
Viterbe.....	15	//	//	116,03	43,0	18,07	*Idem.*	
Florence.....	20	//	//	132,16	44,0	19,43	*Idem.*	
Bains de Pise..	25	//	//	145,04	43,8	19,43	*Idem.*	
Bains de Pise.. (11 mai 1828.)	30	//	//	158,38	44,4	19,43	*Idem.*	L'iris est fortement orangé, et le rouge des pattes très-vif.
Bains de Pise..	45	//	//	180,13	44,5	19,43	*Idem.*	L'iris est plutôt marron qu'orangé. — Le 38e jour, l'animal a chanté pour la première fois.
Tortone..... (10 juin 1828.)	60	//	//	187,52	44,5	19,43	*Idem.*	
								Passé le 60e jour, l'animal étant beaucoup plus fort et plus pesant qu'au début de l'expérience, l'on a cessé les observations. Je dirai seulement que, dans cette dernière portion de l'expérience, l'animal ayant parfois cessé d'avoir de l'appétit, ou même ayant rejeté par vomissement le blé de Turquie qu'on lui ingérait, on rétablissait bientôt les fonctions de l'estomac, en lui fournissant des fragments de substances calcaires à avaler. Le 80e jour (30 juin 1828), étant à Friesenheim, dans le grand duché de Baden, la cage est restée ouverte, et l'animal a pris son essor et s'est envolé. — Je l'ai bientôt perdu de vue, et ainsi il m'a donné la preuve que son rétablissement était complet et que l'expérience avait réussi à tous égards.

PIGEON N° 23.

(Genève, 14 décembre 1831.)

Un pigeon du poids de 360 gramm. 53 cent., dont l'alimentation normale et journalière (tabl. n° 4) était de $\begin{cases} \text{blé} = 36^{\text{gr}}\ 79^{\text{c}} \\ \text{eau} = 34\ \ 22 \end{cases}$, a été soumis à une alimentation insuffisante dont la moyenne diurne a été de $\begin{cases} \text{blé} = 17^{\text{gr}}\ 42^{\text{c}} \\ \text{eau} = \text{à volonté} \end{cases}$, c'est-à-dire de moitié de la quantité nécessaire pour maintenir le corps à son état naturel.

Sous l'influence de cette dernière alimentation, l'animal s'est progressivement affaibli, et s'est trouvé, le 38e jour de ce régime, avoir atteint le terme de mort imminente, caractérisé par l'impossibilité de la station, le refroidissement général du corps (lors de l'ingestion du blé, dont nous parlerons ci-après, le doigt enfoncé dans l'œsophage le trouve tiède, presque froid) l'occlusion des yeux et le spasme de l'œsophage, qui rend la déglutition impossible.

Voulant recommencer l'alimentation en même temps que le réchauffement artificiel, on débute par ingérer à l'animal 32 gram. 38 cent. de blé, lequel s'arrête dans l'œsophage, sans presque descendre dans le jabot, alors même qu'on le pousse avec le doigt. — Cette opération faite, l'animal paraît tellement près de la mort, qu'on ne peut ni prendre son poids ni déterminer sa chaleur finale, et qu'on se décide à commencer immédiatement le réchauffement.

L'on obtient alors les résultats suivants :

	TEMPS du RÉCHAUFFEMENT.	OBSERVATIONS.
11 février 1832.	$0^h\,0'$	(= 10^h 15' a. m.) Début du réchauffement
	2 0	L'animal est toujours très-faible, et le corps reste dans un état d'opisthotonos. Le blé ingéré avant le réchauffement est encore dans l'œsophage et n'a pas passé dans le jabot.
	3 0	Même état de faiblesse et d'opisthotonos : il n'a pas encore avalé son blé, mais il en a rejeté quelques grains.
	5 0	Il est beaucoup mieux : il a avalé son blé et s'est assez réchauffé pour quitter l'étuve. — On l'y replace.
	7 0	Il a bu avec avidité et digère son blé. Il a repris de la chaleur et des forces; il paraît bien remis et quitte son étuve. L'animal paraissant pouvoir se maintenir par lui-même, l'on essaye de cesser le réchauffement, tout en étant prêt à le recommencer si cela devenait nécessaire.
	11 0	L'animal s'est très-bien maintenu, malgré la cessation du réchauffement.
	17 0	L'animal est toujours très-bien : il a encore du blé dans le jabot.
	36 0	Il est parfaitement bien remis. Poids du corps = 219g,37, y compris il est vrai 5 à 6 grammes de blé qu'on sent encore dans le jabot. — On lui réingère alors autres 32g,37 de de blé.
		Pendant les jours suivants on a continué à nourrir l'animal, et il s'est remis complétement [1].

PIGEON N° 24.

(Genève, 14 décembre 1831.)

Un pigeon du poids de 418g,35, et dont l'alimentation normale et journalière (tabl. n° 4) était de $\left\{\begin{matrix}\text{blé} = 36^g,79 \\ \text{eau} = 41\ ,76\end{matrix}\right\}$, a été soumis à une alimentation insuffisante, dont la moyenne diurne a été de $\left\{\begin{matrix}\text{blé} = 19^g,17 \\ \text{eau à volonté}\end{matrix}\right\}$, c'est-à-dire d'un peu plus de la moitié de la quantité nécessaire pour maintenir le corps dans l'état normal.

Sous l'influence de ce mode d'alimentation, l'animal s'est

[1] Au bout de quelques jours, cet animal a été de nouveau soumis à une alimentation insuffisante, dont la moyenne diurne a été de $\left\{\begin{matrix}\text{blé} = 16^g,19 \\ \text{eau à volonté}\end{matrix}\right\}$. Les forces ont alors progressivement diminué, et, à la fin du huitième jour de ce régime, on a trouvé l'animal mort au moment où l'on espérait pouvoir répéter le réchauffement. Poids du corps un peu après la mort = 217g,56 : ainsi, probablement à peu près le même que celui qu'avait l'animal, lors de la mort imminente, dans l'expérience ci-dessus.

affaibli progressivement, et le 56e jour de ce régime, il s'est trouvé avoir atteint le terme de mort imminente, caractérisé par l'impossibilité de la station, par la cessation du clignotement des yeux, par le rallentissement du cœur (= 89 par minute), par un refroidissement tel que la chaleur dans le cloaque était abaissée à 22°, 1, et enfin par la réduction du poids du corps à 244g, 75, ce qui représente une perte intégrale proportionnelle = 0,415.

Dans un tel état de choses, l'on se hâte de commencer le réchauffement, et l'on obtient les résultats suivants :

	TEMPS du RÉCHAUFFEMENT.	OBSERVATIONS.
1er mars 1832.	0h 0′	(= 9h 25′ a. m.) Début de réchauffement.
	0 10	L'animal s'est déjà sensiblement ranimé. — On lui ingère 3g,24 de blé; mais, l'œsophage étant serré, le blé s'y arrête et ne passe point dans le jabot.
	0 50	Plus animé : cœur à 138 par minute. — La station recommence, mais fort imparfaitement.
	1 0	La déglutition se fait, mais avec beaucoup de difficulté. On ingère alors 29g,14 de blé, qu'on ne peut faire parvenir dans le jabot qu'en le poussant avec le doigt introduit dans l'œsophage.
	3 0	L'animal est bien remis. Il s'est perché sur son étuve, et il s'envole quand on l'approche. — L'on lui fournit de l'eau; il en boit avec avidité.
	3 10	Le trouvant si bien rétabli, l'on essaye de suspendre le réchauffement.
	5 11	L'animal est parfaitement bien quoiqu'on ait cessé le réchauffement depuis deux heures de temps. Il est aussi vif et animé que les jours précédents, allant et marchant comme d'ordinaire. Sa chaleur à 5h 11′, à dater du début du réchauffement, = 40°,7. Ainsi il a repris la faculté de produire de la chaleur; il se soutient par lui-même et son rétablissement est complet.
	15 30	(= 12h 55′ de la nuit.) Chaleur animale = 39°,3 (influence nocturne). — L'animal continue à être parfaitement bien, malgré la cessation absolue du réchauffement. Il n'a plus qu'un peu de blé dans le jabot : on lui en réingère 32g,37.

A dater de ce moment, l'animal, pendant plusieurs semaines, a continué à être parfaitement bien et à augmenter de poids. On lui a ingéré régulièrement 32g,37 de blé par jour, et son poids s'est trouvé successivement, toujours à compter du début du réchauffement, savoir :

TEMPS À DATER DU DÉBUT du réchauffement.	OBSERVATIONS.
8e jour.....	Poids du corps..... 272g,14
15e *idem*.....	*Idem*..... 301 ,22
22e *idem*.....	*Idem*..... 314 ,62
29e *idem*.....	*Idem*..... 319 ,48
	Cependant la soif s'est développée et est devenue peu à peu assez vive pour que, du 24e jusqu'au 67e jour (c'est-à-dire jusqu'à la fin de la vie), la moyenne de la quantité d'eau consommée journellement ait été de 177g,5, c'est-à-dire de 4 $\frac{1}{4}$ de fois la moyenne de la dépense diurne dans l'état normal. En même temps, il s'est peu à peu établi une diarrhée énorme, qui, de même que la consommation d'eau, a duré jusqu'à la fin de la vie; et l'animal s'est mis à picoter partout, pour rechercher les substances calcaires qu'on ne lui donnait pas, tout en continuant cependant à lui fournir jusqu'à la fin ses 32g,37 de blé par jour.
	Sous ces diverses influences le poids du corps, qui jusque-là était allé en augmentant, s'est mis progressivement à décroître; et, toujours à dater du début du réchauffement, il est successivement devenu :
36e jour.....	Poids du corps..... 312g,74
43e *idem*.....	*Idem*..... 306 ,53
50e *idem*.....	*Idem*..... 278 ,23
57e *idem*.....	*Idem*..... 298 ,50
64e *idem*.....	*Idem*..... 240 ,80
67e jour.....	Le corps étant arrivé à ce degré d'exténuation, supérieur même à celui qu'il avait atteint lors de l'état de mort imminente qui avait immédiatement précédé le réchauffement, l'animal a vécu encore trois jours, prenant de vingt-quatre en vingt-quatre heures ses 32g,37 de blé et ses 177g,5 d'eau, et continuant à évacuer énormément. — Enfin le : le corps étant encore *chaud* et le cœur *rapide*, la station est devenue impossible, l'animal est tombé dans un état de prostration, la déglutition est devenue difficile et plus tard le corps s'est refroidi.
	L'on a essayé alors le réchauffement artificiel; mais, l'animal n'ayant point été surveillé pendant sa durée, l'on rentre au bout de 55 minutes d'étuve pour le voir expirer. — La chaleur du cloaque au moment de la mort était à 43°,0, mais les pattes étaient brûlantes.
	A mon grand regret il n'y a pas eu d'autopsie, et le poids final du corps n'a pas été déterminé. Mais, en supposant que pendant les trois derniers jours la perte de poids ait été proportionnelle à celle des sept jours immédiatement antécédents, l'on aurait pour le poids final du corps 216g,17.
	Cette expérience remarquable, mais malheureusement incomplète à la fin, offre le passage très-intéressant de l'état physiologique à l'état pathologique. Dans la première partie, l'inanition était la suite d'une alimentation insuffisante; dans la seconde, elle était l'effet d'une diarrhée qui avait amené de la *fièvre*, laquelle à son tour, en maintenant la chaleur animale élevée, avait en quelque sorte remplacé le réchauffement artificiel, et avait permis au poids du corps de s'abaisser de la quantité dont celui-ci diminue sous l'influence du réchauffement artificiel non secondé par l'alimentation. — Et c'est là probablement l'un des offices de la perturbation fébrile, que de permettre au corps de résister à une perte de poids qui eût suffi, sans elle, pour amener la cessation de la caloricité et la mort par refroidissement.

Fig 1.

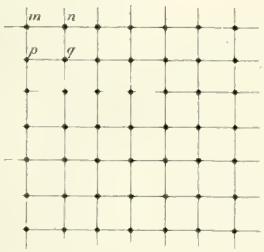


Fig 2

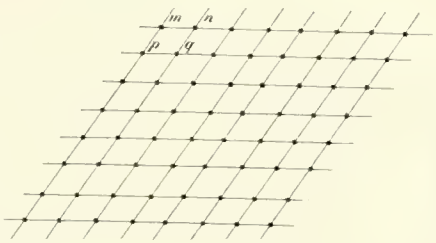


Fig 3.

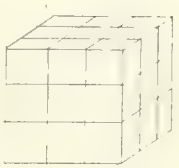


Fig 4.

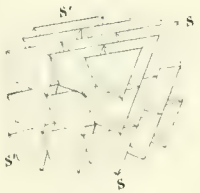


Fig 5.

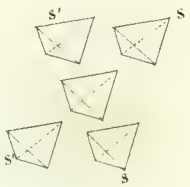


Fig 6.

Fig 7

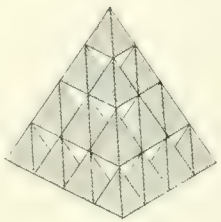


Fig 8

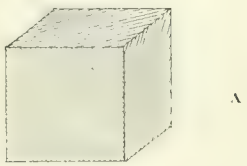


Fig 9

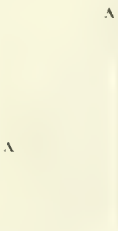


Fig 10

Fig 11

Fig 12

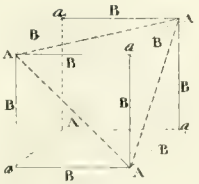


Fig 13

Fig 14

Lith. de l'Imprimerie Royale

NATIONAL HISTORY

Fig 15.

Fig 16.

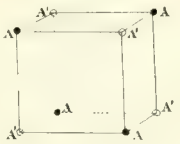


Fig 17

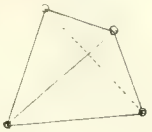


Fig 18

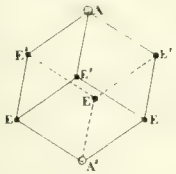


Fig 19

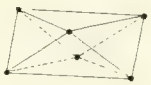


Fig 20

Fig 21

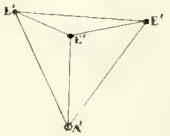


Fig 22

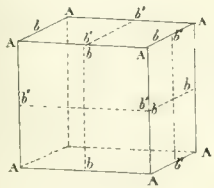


Fig 23.

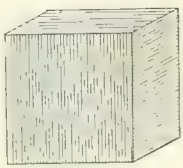


Fig 24

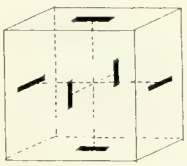


Fig 25

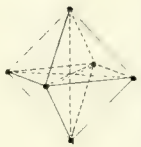


Fig 26

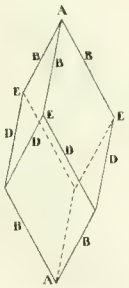


Fig 27

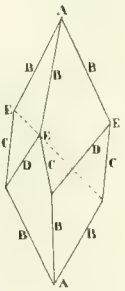


Fig 28

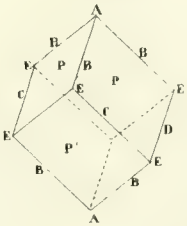


Fig 29

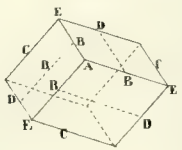


Fig 30

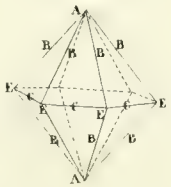
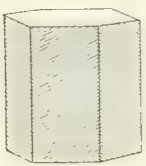
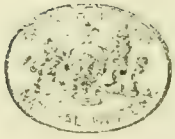


Fig 31

Fig 32



Lith. de l'Imprimerie Royale



RECHERCHES

SUR

LA CRISTALLISATION,

CONSIDÉRÉE SOUS LES RAPPORTS PHYSIQUES ET MATHÉMATIQUES;

PAR G. DELAFOSSE,

PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE À LA FACULTÉ DES SCIENCES.

PREMIER MÉMOIRE.

DE LA STRUCTURE CRISTALLINE ET DE QUELQUES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES QUI EN DÉPENDENT.

Il est peu de questions qui offrent en ce moment un intérêt plus vif et plus général que celles qui ont trait à la connaissance exacte de la constitution moléculaire des corps. De tous côtés les physiciens et les chimistes multiplient à l'envi les recherches, et épuisent tous les moyens d'investigation que la science leur fournit, sinon pour atteindre complétement ce but, du moins pour essayer de jeter quelque lumière sur l'un des points les plus importants et les plus mystérieux de la philosophie naturelle. Les géomètres, depuis le changement qu'ils ont opéré dans la direction de leurs travaux, en renonçant à considérer les corps comme des masses continues, pour ne plus voir en eux que des assemblages de molécules distinctes, cherchent aussi à

contribuer de tous leurs moyens au succès de cette tentative; et l'on est en droit d'attendre de ce concours universel les résultats les plus heureux et les plus favorables aux progrès de la physique moléculaire.

La cristallographie, qui a déjà été si utile à l'avancement de cette partie de la science, ne doit pas cesser de tendre au même but; car, les faits dont elle s'occupe semblent, par leur nature même, devoir y mener par une route plus directe et plus sûre. Mais, pour que ses efforts ne soient pas désormais infructueux, il est nécessaire qu'elle envisage son sujet sous de nouvelles faces, et qu'elle ne borne plus l'étude des cristaux à l'observation de leurs formes extérieures, et à la détermination de leurs rapports purement géométriques; il faut qu'elle étende le champ de ses recherches, en essayant de poursuivre la connaissance de la structure intérieure des corps cristallisés, au delà du point où s'est arrêté Haüy, et où ce savant illustre, trompé par une hypothèse sans fondement réel, et que nous prouverons bientôt être complétement inadmissible, avait cru voir une limite que sa théorie ne devait pas franchir.

La structure, telle que nous la considérons ici, nous paraît être incontestablement le caractère de première valeur dans les cristaux, celui qui domine tous les autres. La forme extérieure, qui, jusqu'à ce jour, a eu le privilége d'absorber toute l'attention des cristallographes, n'est plus à nos yeux qu'un caractère secondaire, qui n'a d'importance que parce qu'il se montre toujours subordonné dans ses modifications aux lois particulières de la structure interne, et de la constitution moléculaire du corps cristallisé. Sous ce rapport, la forme cristalline ne se distingue des autres propriétés physiques, que parce qu'elle se prête à une détermination plus facile et peut-être plus rigoureuse; car toutes les propriétés physiques ont été, comme elle, soumises à l'influence de la cristallisation et marquées également de son empreinte. Par suite de cette subordination qui leur est commune, toutes manifestent des variations constantes et appré-

ciables, selon les directions diverses dans lesquelles on les observe. Tel est le cas, par exemple, des différents phénomènes qui dépendent de la cohésion, comme le clivage, la dureté et l'élasticité, et de ceux plus nombreux et plus variés encore qui se rapportent aux actions de la lumière, de la chaleur et de l'électricité. Toutes les propriétés physiques dans les cristaux sont donc propres à traduire extérieurement les modifications qu'éprouve en divers sens la structure interne, et, par conséquent, toutes doivent être mises en ligne de compte, lorsqu'il s'agit de déterminer rigoureusement la constitution intime d'un milieu cristallisé.

Si la loi de la structure moléculaire d'un cristal était donnée *a priori*, ou, si par un moyen quelconque on arrivait à connaître le véritable type de sa molécule, sinon d'une manière absolue, du moins dans ses caractères essentiels (comme dans le nombre, les dimensions et les positions relatives de ses axes principaux); et, qu'en outre, on pût assigner dans la masse cristalline, les directions pour lesquelles l'arrangement moléculaire varie, et celles où la distribution des molécules redevient la même, on aurait certainement par là une idée exacte de la symétrie qui caractérise le milieu cristallisé, et l'on serait en état de prévoir celle qu'une observation attentive pourrait faire reconnaître dans les modifications des propriétés physiques, celle-ci devant évidemment se modeler sur la première.

Mais s'il existe une telle dépendance entre la nature intime du milieu cristallisé et cette symétrie correspondante qui se manifeste toujours à l'extérieur, dans les variations de chaque propriété physique, ne doit-il pas être possible de conclure de l'une à l'autre, et, par une analyse exacte et une discussion approfondie de tous les phénomènes secondaires, de remonter jusqu'au fait primitif dont ils dérivent? Oui, sans doute, pourvu toutefois que, dans cette analyse, on n'omette aucune circonstance importante, aucune des conditions essentielles du problème à résoudre. Or, nous allons voir que, sous ce rapport, les théories

cristallographiques les plus complètes laissent beaucoup à désirer; et, bien que celle de notre vénérable maître, l'abbé Haüy, pénètre plus profondément qu'aucune autre dans la nature des cristaux, elle a besoin elle-même d'être modifiée en quelques points, non-seulement pour pouvoir s'accorder avec tous les faits connus, mais encore pour se prêter à des développements ultérieurs.

Il existe deux écoles différentes de cristallographes, qui, toutes deux, ont pris leur origine en France, presque à la même époque, et se sont propagées simultanément jusqu'à nos jours. Si l'on voulait les caractériser en quelques mots, on pourrait, avec M. Al. Brongniart, appeler l'une, l'école géométrique et l'autre l'école physique.

La première date de Romé-de-l'Isle et de son illustre contemporain Werner. Un moment éclipsée par les brillantes découvertes d'Haüy, qui fut le fondateur et le chef de la seconde école, elle s'est maintenue et continuée en Allemagne par les travaux nombreux et importants de Weiss et de Mohs. Ces deux savants crurent pouvoir, à l'exemple de leurs devanciers, s'en tenir à la considération exclusive de la forme et négliger entièrement celle de la structure, du clivage, et des autres propriétés physiques; ils sont parvenus néanmoins à donner à leurs théories géométriques un degré assez éminent de perfection, en mettant à profit les recherches de notre célèbre cristallographe, auquel ils ont fait emprunt des deux lois qui forment la base et comme tout le résumé de sa doctrine : je veux parler de la *loi de symétrie* et de celle *des décroissements*, auxquelles sont soumises toutes les faces de modification des cristaux. Mais en cherchant à s'approprier ces deux grands faits, ils les ont présentés comme de simples lois empiriques [1], leur faisant perdre ainsi le caractère de *lois a*

[1] La loi de symétrie, qui détermine le nombre et la disposition générale des plans dont se composent les formes d'un système cristallin, peut bien, elle, être considérée comme un résultat de généralisation inductive; mais il est difficile de reconnaître le même caractère à la seconde loi, qui règle les inclinaisons mutuelles des faces, soit d'une même forme, soit de deux

priori, caractère qui les distingue dans la théorie du minéralogiste français.

Malgré ce désavantage qu'ont à nos yeux les théories allemandes, nous sommes très-porté à reconnaître la valeur des raisons qui, dans la pratique comme dans l'enseignement de la science, paraissent militer en faveur du point de vue que leurs auteurs ont adopté de préférence. Une plus grande simplicité semble être le partage d'une doctrine, qui n'est au fond qu'un exposé dogmatique de principes et de lois, pour la vérification desquels on se contente de renvoyer à l'expérience; mais la science est en droit d'exiger davantage; et à côté de cette cristallographie toute *pratique*, dont nous ne contestons pas l'utilité, il est bon, ce nous semble, et nous dirons plus, il est nécessaire de placer une cristallographie *théorique* qui montre le véritable fondement des lois sur lesquelles s'appuie la première. Rejeter entièrement de la science des cristaux une théorie aussi simple et aussi fortement empreinte de vérité que l'est celle d'Haüy, pour s'en tenir aux simples connaissances qu'exigent, à la rigueur, les déterminations minéralogiques, ce serait faire faire à la cristallographie un pas rétrograde comparable, en quelque sorte, à celui qui aurait lieu en astronomie si l'on venait à s'y restreindre

formes différentes combinées entre elles. Cette loi, d'après laquelle les décroissements qui s'opèrent sur les bords des lames composantes des cristaux ont toujours lieu uniformément, et par un petit nombre de rangées de molécules, revient à dire que les arêtes d'une forme cristalline doivent être coupées, dans des rapports simples et rationnels, par les faces d'une autre forme quelconque du même système, qui s'ajoute à la première. De là les noms de *loi de rationalité*, ou de *loi des troncatures rationnelles*, sous lesquels plusieurs cristallographes de l'Allemagne désignent la loi fondamentale, trouvée et démontrée par Haüy. La loi de rationalité n'est, à vrai dire, qu'un corollaire de la proposition qui sert de base à la théorie des décroissements, et celle-ci, à son tour, est le résultat nécessaire du fait du clivage combiné avec l'hypothèse atomistique. Cependant M. Weiss a cru pouvoir présenter la loi de rationalité comme la conséquence mathématique d'une autre loi purement expérimentale qu'il appelle *la loi des zones*, et qui consiste en ce que les différents plans d'un système cristallin sont tellement liés entre eux, que l'on peut toujours, à partir d'un plan quelconque, parcourir en différents sens des séries ou zones de plans consécutifs, qui tous se coupent mutuellement dans des arêtes parallèles; d'où il résulte que la direction d'un plan nouveau peut être connue, indépendamment de toute mesure d'angles, si ce plan appartient à deux zones différentes, et que, dans chacune d'elles, deux premiers plans soient donnés.

aux lois expérimentales de Képler, en mettant de côté la grande loi de Newton qui les résume toutes et les explique.

Nous avons dit que, dans la manière de voir des minéralogistes allemands, la cristallographie est redevenue ce qu'elle était du temps de Romé-de-l'Isle, une science toute géométrique. La plupart, en effet, considèrent la forme cristalline comme une propriété primordiale au lieu de l'envisager comme un effet secondaire des lois de la structure interne; ils se bornent, en conséquence, à observer les formes des cristaux, à les analyser et à les comparer soigneusement, pour arriver ensuite à les classer d'une manière naturelle, travail important, dans l'exécution duquel ils ont certainement fait preuve d'une rare sagacité. Toutefois, nous devons le dire, la cristallographie réduite à ces proportions semble n'être rien autre chose qu'un simple chapitre ajouté à la théorie des polyèdres.

Le problème cristallographique, tel qu'Haüy l'avait conçu et posé dès l'origine, est d'une nature bien différente : il est physique autant que mathématique; il n'a pas seulement pour but de déterminer les rapports de forme qui existent entre les divers cristaux d'un sel ou d'une espèce minérale, mais encore d'expliquer ces rapports et les formes elles-mêmes, en remontant à leur cause première, qui est la constitution intérieure du corps cristallisé. La cristallographie fondée par Haüy n'est donc point une science purement abstraite : elle est, comme il le disait lui-même, la théorie des lois auxquelles est soumise la structure matérielle des cristaux; aussi prend-elle son point de départ dans le clivage, l'une des propriétés physiques qui se lient de la manière la plus évidente avec cette structure.

On sait comment Haüy, par la considération des clivages qui se répètent en divers sens, démontre jusqu'à l'évidence qu'un cristal est mécaniquement divisible en une multitude de petits parallélipipèdes similaires, juxtaposés entre eux, qui peuvent à leur tour se subdiviser de plus en plus sans changer de forme; et comment, après avoir opéré en réalité cette subdivision pro-

gressive et l'avoir poussée jusqu'au point où, par l'imperfection de nos sens, elle cesse d'être praticable, il la continue par la pensée et la conduit jusqu'à sa dernière et véritable limite, sa limite naturelle ; car, en raisonnant dans l'hypothèse atomistique, on est forcé de reconnaître que cette division mécanique doit avoir un terme : elle peut aller jusqu'à la molécule physique du cristal, ou bien rester en deçà, mais elle ne saurait, en aucun cas, dépasser cette molécule.

Il résulte donc clairement de cette espèce d'anatomie du cristal, que l'on peut concevoir celui-ci comme un assemblage continu de petits éléments polyédriques, tous semblables de forme et juxtaposés par leurs faces. Ces particules cristallines sont pour Haüy les éléments de premier ordre du cristal : en se réunissant entre elles par séries linéaires ou planes, elles composent des files ou lames moléculaires, autres sortes d'éléments de second et de troisième ordre, dont il a su tirer un parti avantageux dans le développement des lois de la structure. C'est à ces particules polyédriques qu'Haüy donne, comme on le sait, le nom de *molécules intégrantes*, quand il les considère comme le dernier terme de la division mécanique, et celui de *molécules soustractives*, quand elles résultent du groupement de plusieurs molécules intégrantes, ou bien lorsque, dans l'absence du clivage, elles ne lui sont connues que d'une manière indirecte et par voie de calcul.

Si l'on considère la particule intégrante comme représentant l'un des éléments de la structure mécanique et géométrique du cristal, et non pas nécessairement l'élément physique de la substance elle-même, on peut dire que son existence est incontestable, du moins pour tous ceux qui se placeront, comme nous le faisons ici sans scrupule, au point de vue de la physique moléculaire ; mais sa réalité n'est pas celle qu'Haüy a cru pouvoir lui attribuer, en la confondant avec la molécule du corps, et il importe avant tout de ramener cet élément du cristal à sa véritable signification.

A la rigueur, Haüy aurait pu se dispenser d'émettre son opi-

nion touchant la nature de cet élément et ses rapports avec les vraies molécules; il était libre de s'en tenir à la connaissance de sa forme et à celle de ses propriétés physiques les plus manifestes, sans chercher à aller au delà; mais, cédant involontairement à la tendance de notre esprit, qui nous porte à croire que les choses sont réellement en elles-mêmes telles qu'elles s'offrent à nos sens, il a supposé que le dernier terme de la division mécanique du cristal devait être en même temps celui de la division physique de la substance, imitant en cela les chimistes qui placent la simplicité de la matière à l'endroit où s'arrêtent leurs moyens d'analyse.

L'hypothèse qu'il s'est permise à cet égard, et par laquelle il tranchait, au lieu de la résoudre, la question relative à la forme moléculaire, n'a eu d'autre effet que de mettre obstacle à toute recherche ultérieure sur la nature des véritables corpuscules entre lesquels la cohésion s'exerce; elle a été cause d'un temps d'arrêt dans le développement de la théorie de la structure, mais, à part cet inconvénient, elle n'a eu aucune influence fâcheuse sur la partie de la théorie générale qui n'a pour but que d'expliquer la variation des formes secondaires. Cette théorie spéciale, telle qu'Haüy l'a développée sous le nom de *théorie des décroissements*, est tout à fait indépendante de l'idée qu'on peut se faire de la nature des particules intégrantes; elle n'envisage dans celles-ci que leur forme; elle ne voit en elles que de petits espaces polyédriques, régulièrement juxtaposés, et dans lesquels le cristal entier, considéré lui-même comme corps géométrique, est décomposable. La molécule intégrante n'est donc pour Haüy qu'une sorte d'unité, au moyen de laquelle il évalue le décroissement des lames composantes qui se superposent, en diminuant successivement d'étendue, pour former les parties extérieures du cristal. Aussi ne fait-il point difficulté de changer de mesure, selon les circonstances, dans l'application de sa théorie à une même espèce minérale, donnant alors à la nouvelle unité qu'il choisit, jusqu'à un certain point, arbitrairement le nom de *molécule soustrac-*

tive [1]. Il est évident que ce dernier genre de molécule, variable de sa nature, comprend, comme cas particulier, la molécule intégrante, et que celle-ci ne diffère des autres que par ce seul et unique caractère, d'avoir toutes ses faces parallèles aux directions de clivage.

Il est facile d'établir la signification précise de cet élément du cristal, que nous nommerons la *particule* intégrante ou cristalline, et de montrer en quoi il diffère de la véritable *molécule* physique, c'est-à-dire du groupe atomique qui constitue la substance matérielle, abstraction faite de son état cristallin. Il suffit pour cela de reprendre le raisonnement que faisait Haüy sur le clivage, en cherchant à interpréter plus rigoureusement que lui les résultats de cette division mécanique. En effet, de la possibilité d'un clivage dans une première direction plane, nous sommes seulement autorisé à conclure que les molécules du cristal, considérées comme des points matériels, sont distribuées sur une série de plans parallèles entre eux et à cette direction; qu'à ce premier clivage s'en joignent deux autres, dans deux directions nouvelles, nous tirerons une conséquence semblable, relativement à chacune de ces directions, et, de ces résultats combinés entre eux, il ressortira clairement que les molécules doivent être espacées d'une manière uniforme et symétrique, ayant leurs centres de gravité aux points d'intersection de trois séries de plans parallèles, et présentant ainsi, dans leur ensemble, une sorte de configuration en quinconce, ou l'image d'un réseau continu à mailles parallélipipédiques. Les molécules sont fixées aux points dont nous parlons, non d'une manière inébranlable, mais dans un état d'équilibre plus ou moins stable, et elles composent, en différents sens,

[1] Dans les minéraux à quadruple clivage, qui se subdivisent en octaèdres, en tétraèdres, et en rhomboèdres, Haüy choisit pour molécule intégrante l'une des deux premières formes, et pour molécule soustractive la forme rhomboïdale. « Que les parties solides de ces rhomboïdes, dit-il, soient des octaèdres qui laissent entre eux des vacuoles semblables aux tétraèdres, ou que ce soit le contraire qui arrive, cela est indifférent à la théorie, qui ne considère ici que des espaces rhomboïdaux, en faisant abstraction de la figure des petits corps qui occupent ces espaces. » (*Tr. de Min.* 1re édit. vol. I, p. 473.)

des files rectilignes et parallèles, dans chacune desquelles leurs centres sont équidistants. Celles de ces files qui se trouvent sur le même plan sont pareillement à des distances égales les unes des autres.

Il est évident, d'après cela, que la molécule intégrante d'Haüy n'est que le plus petit des parallélipipèdes que forment entre elles les molécules voisines, et dont elles marquent les sommets; ou, si l'on veut, elle n'est que la représentation des petits espaces intermoléculaires, ou des mailles du réseau cristallin. Ce qu'Haüy considère comme les dimensions de cette molécule hypothétique, n'est rien autre chose que les intervalles qui séparent les molécules réelles, dans les directions des arêtes ou des axes de la forme primitive.

Mais, parce que les petits parallélipipèdes soustractifs existent dans le cristal, et qu'Haüy ne s'est mépris que sur leur nature, l'erreur qu'il commet en les confondant avec les véritables molécules, a, par elle-même, peu d'inconvénient; car elle n'affecte que le langage dont il se sert, et disparaît des applications de sa théorie, qui en est complétement indépendante.

Le raisonnement par lequel nous venons d'expliquer le phénomène du clivage prouve la nécessité d'établir une distinction entre la molécule physique et la particule intégrante. La première est pour nous l'élément atomique du corps, à part toute considération d'état cristallin. La seconde n'est que l'élément de sa structure géométrique, quand il s'offre sous cet état particulier et accidentel : elle ne précède point l'acte de la cristallisation, mais elle en est le produit, et n'a d'existence que dans le cristal tout formé.

Cette distinction est d'autant plus importante, que nous aurons bientôt la preuve que, dans un grand nombre de cas, les véritables molécules ont un type géométrique très-différent de celui qu'Haüy leur assigne. C'est ainsi qu'il nous sera clairement démontré que le type moléculaire a tous les caractères d'une forme tétraédrique, dans beaucoup de cas où ce savant admet la forme

cubique, tandis que c'est précisément le contraire qui a lieu dans la plupart de ceux où il adopte la forme du tétraèdre.

Les phénomènes du clivage, considérés en eux-mêmes, ne suffisent pas pour nous faire connaître la forme des molécules; ils nous apprennent seulement quelle configuration régulière résulte de la manière dont elles sont arrangées entre elles. On réduirait, par la pensée ces molécules à leurs centres de gravité, pour les transformer en de véritables points matériels, que rien ne serait changé dans l'assortiment général des files et des tranches moléculaires, et dans la disposition des fissures, qui séparent celles de ces tranches qui ont une même direction. Sans doute cette configuration est en rapport avec la forme de la molécule, dont il n'est pas possible de faire pleinement abstraction, puisque toute la cristallisation en dépend; mais cette influence du type moléculaire, sur la structure apparente du cristal, n'est pas tellement immédiate, que les mêmes phénomènes de clivage ne puissent résulter de l'agrégation de molécules de diverses formes, comme nous le prouverons par la suite. Le type moléculaire reste donc indéterminé, tant que, pour parvenir à le connaître, on ne prend en considération que les seules données du clivage, ainsi que le fait Haüy. Sa théorie de la structure cristalline est, par conséquent, incomplète, en ce qui concerne la forme des molécules, et elle laisse un libre champ aux recherches que nous nous proposons d'entreprendre pour la détermination de cet important caractère[1].

[1] Un cristal étant traversé dans une multitude de sens par des fissures planes, perpendiculairement auxquelles les tranches de molécules se tiennent avec une force plus ou moins considérable, celles-ci ont une tendance d'autant plus grande à se séparer, par suite d'un choc extérieur, qu'elles répondent à une direction de moindre cohérence. Le joint naturel que produit cette rupture d'équilibre n'est rien autre chose que le plan qui touche à la fois en des points homologues toutes les molécules d'une même tranche. Pour concevoir l'existence de pareils joints, il n'est donc pas nécessaire de supposer, comme l'a fait généralement Haüy, que les molécules aient des faces planes, plus ou moins larges, disposées de niveau parallèlement à chaque direction de clivage. La séparation suivant des plans lisses et continus est moins la conséquence immédiate de la forme des molécules, que de la manière symétrique dont elles sont arrangées et alignées entre elles. C'est, d'ailleurs, ce qu'Haüy n'a pas fait difficulté d'admettre dans quelques cas où il a été forcé de s'écarter de sa manière de voir ordinaire. Dans la 1re édition de son Traité de minéralogie, lorsqu'il veut développer la structure du dodécaèdre bipyramidal du

On vient de voir que nous avons été conduit à faire à la théorie d'Haüy une première modification, qui consiste à restituer à la particule intégrante sa véritable valeur, en la distinguant de la molécule physique du corps. Mais ce changement en entraîne un autre d'une importance non moins grande, non-seulement parce qu'il nous facilitera cette extension de la théorie dont nous venons d'entrevoir la possibilité, mais encore parce qu'il fait évanouir tout d'abord une difficulté sérieuse, qui s'est offerte plusieurs fois aux cristallographes, dans l'application de la loi de symétrie, et qui n'a jamais été résolue d'une manière satisfaisante.

On sait qu'une substance minérale est susceptible de cristalliser sous diverses formes, entre lesquelles il est facile d'apercevoir des passages, et que même un seul cristal peut, à différentes époques de son accroissement, changer successivement de figure, si les circonstances, au milieu desquelles la cristallisation a lieu, viennent à varier. Ces passages, d'une forme à une autre, s'opèrent toujours par de nouvelles facettes, qui remplacent les arêtes ou les angles de la première, et qu'on appelle des facettes de modification ou de troncature, parce qu'elles ressemblent à des sections qu'on aurait pratiquées sur les parties terminales de cette forme, supposée d'abord complète. C'est la loi de symétrie, qui détermine le nombre et la disposition de ces facettes additionnelles, et c'est par elle que le cristallographe parvient à connaître le système total des formes d'un minéral, quand une seule de ces formes lui est donnée. Cette loi, dans son énoncé le plus général, est fort simple; car elle consiste à dire que les parties extérieures d'un cristal, qui offrent entre elles une parfaite identité, doivent toujours être modifiées simultanément et de la même

quartz, il reconnaît que les faces moléculaires ne sont plus situées sur un même plan dans la direction des joints naturels, et il fait voir que cette circonstance n'empêche pas les clivages de *paraître continus* (tom. I, p. 489.) Dans le Traité de cristallographie (tom. I, p. 247), il applique aux clivages qu'il nomme *surnuméraires* l'explication que nous donnons ci-dessus d'un clivage quelconque, et que nous croyons pouvoir étendre à ceux-là mêmes qui sont parallèles aux faces primitives, bien qu'Haüy ait cherché à combattre cette assimilation par des arguments d'une assez faible valeur.

manière. Cela est évident; car, là où les mêmes causes déterminantes existent, les mêmes effets doivent s'ensuivre. La loi de symétrie n'est donc, à vrai dire, qu'un axiome de physique, et, en cette qualité, elle ne saurait faillir. Il faut toutefois faire abstraction du cas où certaines facettes d'un cristal, qui s'accroît inégalement dans son pourtour, avortent, pour ainsi dire, parce que les facettes voisines, en s'étendant outre mesure, ne leur laissent point de place : cas bien connu des cristallographes, et qui ne constitue pour eux qu'une exception particulière et accidentelle, en ce qu'elle n'affecte point toute l'espèce à la fois, mais seulement l'individu que l'on considère.

A part cette circonstance, et en admettant que l'accroissement des cristaux se fasse d'une manière uniforme et régulière, il est difficile de s'imaginer comment la loi de symétrie pourrait souffrir des exceptions dans un cristal dont toutes les parties seraient exactement proportionnées. Et cependant Haüy et d'autres cristallographes ont rencontré des cas assez nombreux où elle leur a semblé être en défaut, et où l'exception même leur apparaissait comme une anomalie constante, en ce qu'elle affectait généralement et au même degré tous les cristaux de l'espèce. Ces cas sont ceux des minéraux qu'on nomme : *pyrite, boracite, tourmaline, quartz, apatite, chalkopyrite, etc.*

De telles anomalies sont tout à fait inadmissibles. N'est-il pas plus naturel de penser que l'on a fait une fausse application de la loi, en se méprenant sur la nature des parties auxquelles on a accordé la même valeur? Il ne suffit pas de dire, en effet, que les parties identiques doivent être semblablement modifiées; il faut surtout examiner l'état réel de ces parties, et les conditions qui déterminent leur similitude; il faut commencer par faire une énumération complète de celles qui sont identiques, et de celles qui ne le sont pas, et pour cela il importe beaucoup de ne pas se tromper sur les caractères auxquels l'identité peut se reconnaître.

Or, la définition donnée par Haüy des parties identiques est inexacte, parce qu'elle est incomplète. Cédant lui-même à cet

entraînement général qui porte tous les cristallographes vers les considérations de nature abstraite, et dès lors, préoccupé de l'idée que les cristaux et leurs particules intégrantes peuvent être envisagés comme de simples polyèdres, Haüy n'admet pour l'identité qu'une seule condition, une condition purement géométrique, savoir la ressemblance de forme. Pour lui, deux angles dièdres ou solides d'un cristal sont identiques, quand ils sont géométriquement égaux; quant aux conditions de nature physique, il les passe sous silence. Mais pourtant, la forme polyédrique n'est, suivant sa propre expression, que le fantôme du cristal, et celui-ci est, avant tout, un corps matériel, qu'on ne peut pas dépouiller entièrement de ses propriétés physiques, lorsqu'il s'agit surtout d'interpréter un phénomène qui dépend uniquement des lois physiques auxquelles la matière obéit. Et s'il arrive (comme cela est en effet) que deux parties d'un cristal, géométriquement semblables, aient d'ailleurs des structures ou constitutions moléculaires différentes, on ne peut plus dire, dans ce cas, qu'elles sont en tout point identiques.

Il faut donc compléter la définition donnée par Haüy, en ajoutant que les parties, déjà *semblables de forme*, doivent être de plus *physiquement identiques*, en sorte que l'identité absolue comporte deux conditions, l'une géométrique, et l'autre physique. Alors, toutes les fois que la loi de symétrie paraîtra en défaut aux yeux de celui qui ne tiendrait compte que de l'identité de forme des parties modifiées, il y aura lieu d'examiner si ces parties ne cacheraient pas, sous cette ressemblance extérieure, des propriétés physiques différentes.

Il est d'autant plus surprenant qu'Haüy n'ait pas soupçonné la possibilité de pareilles différences de structure entre des formes ou parties de formes primitives, mathématiquement semblables, qu'il n'ignorait pas l'existence de ce fait, à l'égard de beaucoup de formes secondaires[1]. En effet, sa théorie établit manifeste-

[1] Dans une seule circonstance, Haüy parle de la distribution et de l'influence des atomes qui entrent dans la composition de la molécule intégrante. (Voyez *Tr. de min.* 2e vol. pag. 15,

ment que des lois diverses de décroissement sont susceptibles de reproduire le même solide géométrique avec des structures essentiellement différentes. Il lui était impossible d'admettre la même disposition moléculaire et la même symétrie dans le prisme hexaèdre du calcaire rhomboïdal, qui passe si facilement à la forme rhomboédrique, et dans celui du béryl, auquel cette espèce de modification est absolument interdite. Il avait reconnu que, par des décroissements *combinés,* qui produisent le même effet en sens contraire, en agissant sur des parties différentes, on obtenait dans les prismes à base oblique (tels que ceux du pyroxène, de l'amphibole et de l'orthose), des solides semblables à ceux qui proviennent de formes primitives beaucoup plus simples. En plus d'un endroit de ses ouvrages, il fait la remarque que les sommets et les arêtes des cristaux ne sont pas de véritables points ou lignes mathématiques; que souvent même ces parties terminales du solide naturel diffèrent par leur position de celles qui leur correspondent sur le solide géométrique, et qu'elles constituent alors de petits plans physiques infiniment étroits, dont le tissu moléculaire peut varier, quoique leur apparence reste la même. En suivant avec lui les conséquences de sa théorie, on entrevoit encore que les faces cristallines elles-mêmes ne sont pas non plus des plans géométriques continus, mais qu'elles doivent présenter une texture ou une disposition moléculaire, diversement saillante à leur superficie, et qui peut changer non-seulement d'une face à une autre sur le même cristal, mais encore d'une direction ou plutôt d'une file moléculaire à une autre sur la même face.

C'est pour avoir omis de prendre en considération ces différences physiques, qui doivent influer sur la corrélation des parties du cristal et par suite sur sa symétrie réelle, que tous les cristallographes ont cru si facilement à ces anomalies constantes, à ces prétendus défauts de symétrie dont nous avons parlé. Ils

1re édit.) Partout ailleurs, il paraît supposer tacitement que l'égalité géométrique entraine avec elle l'identité physique absolue.

n'ont pas vu que ce qu'ils prenaient pour une exception était la véritable symétrie, commandée par la nature même du corps, mais une symétrie différente de celle à laquelle ils s'attendaient, parce qu'ils avaient jugé identiques des parties qui ne le sont pas.

Haüy rapporte ces anomalies à des actions perturbatrices, dont il cherche la cause en dehors des lois de la cristallisation : nous verrons bientôt que son explication, quelque séduisante qu'elle paraisse au premier abord, ne résiste pas à un examen approfondi. Quant aux minéralogistes allemands, ils croient reconnaître dans les mêmes faits des réticences de la cristallisation, et comme une sorte d'habitude prise par certaines formes, de ne produire que la moitié ou le quart du nombre de faces qu'elles devraient avoir. Ils ont donné en conséquence à ces modifications, selon eux incomplètes, les noms d'*hémiédriques* et de *tétartoédriques*.

Cette considération de l'hémiédrie est ingénieuse sans doute; elle peut être utile, sous le rapport de la classification à établir entre les diverses formes cristallines; mais il ne faut pas s'imaginer que, par ce moyen, la difficulté soit levée; elle reste tout entière. De nouvelles modifications sont seulement reconnues et dénommées, mais nullement expliquées. Cette doctrine a même le tort de laisser croire que la nature est libre de produire à volonté, dans une espèce du système cubique, par exemple, soit des formes homoédriques, comme l'octaèdre, soit des formes hémiédriques, comme le tétraèdre régulier ou le dodécaèdre pentagonal; de la même manière que nous pourrions arbitrairement, à l'aide du clivage, faire passer une masse cristalline de spath fluor à la forme d'un octaèdre ou à celle d'un tétraèdre. Mais nous prouverons qu'il en est tout autrement, par une étude exacte de la symétrie, fondée sur la structure et l'ensemble des propriétés physiques; nous établirons positivement que certaines substances cubiques, telles que le sel marin et la fluorine, qui jusqu'à présent n'ont offert que des dérivés immédiats du cube, sont à tout jamais incapables de donner naissance à des tétraèdres ou à des dodécaèdres pentagonaux; que d'autres substances cubiques, comme

le cuivre gris et la blende, qui cristallisent en tétraèdre, ne peuvent pas produire le solide pentagonal; et que réciproquement la pyrite, qui se montre si communément sous cette dernière forme, ne se rencontrera jamais sous celle du tétraèdre [1].

L'hémiédrie n'est bonne qu'à constater, entre certains groupes de formes, des rapports de symétrie, des relations purement mathématiques, comparables à ces passages que, par une abstraction de l'esprit, nous établissons entre les divisions successives de nos méthodes naturelles. En poussant même les considérations de ce genre beaucoup plus loin que ne l'ont fait la plupart des cristallographes allemands, on parvient à reconnaître, entre tous les systèmes cristallins, une sorte de filiation, qui permet de les dériver les uns des autres, par hémiédrie, tritoédrie, tétartoédrie, hectoédrie, etc. mais ce ne sont là que des passages philosophiques, qui peuvent bien faire ressortir les analogies des systèmes, mais qui n'en laissent pas moins subsister les différences caractéristiques.

Au lieu d'admettre dans certaines espèces une dérogation en quelque sorte permanente à l'une des lois les plus simples et les plus générales de la cristallisation, que l'on suppose dans ces substances, ce que l'observation nous démontrera bientôt, une modification particulière de la structure interne, qui entraîne un changement de symétrie dans les parties extérieures du cristal, et aussitôt les anomalies disparaissent. Ce n'est plus seulement une subdivision d'un des systèmes déjà connus qu'on observe alors, mais bien un système d'espèce toute différente, et qui doit prendre place à la suite des autres, sans se confondre avec eux.

Le point de vue nouveau que nous exposons ici nous paraît avoir de l'importance, sous le double rapport de la cristallo-

[1] M. G. Rose, dans ses Éléments de cristallographie, publiés à Berlin en 1833, après avoir décrit les formes hémiédriques du système régulier, fait remarquer que celles qui sont à faces inclinées et qui dérivent immédiatement du tétraèdre n'ont point encore été observées *en combinaison* avec les formes hémiédriques à faces parallèles, dont le type est le dodécaèdre pentagonal, *quoique*, dit-il, *on n'aperçoive pas bien la raison de ce fait.* (Voyez *Elemente der Krystallographie*, pag. 49.

graphie et de la physique générale. Il intéresse la première de ces sciences, en ce qu'il nécessite une autre définition du système cristallin, et une classification plus exacte des systèmes existants. On ne peut plus dire, en effet, qu'un système cristallin est un ensemble de formes, dont chacune diffère de toutes celles des autres systèmes : car deux systèmes réellement différents peuvent avoir certaines formes communes, avec d'autres formes propres et caractéristiques. Nous verrons qu'il existe trois systèmes cubiques, c'est-à-dire trois systèmes particuliers, dans chacun desquels le cube se rencontre; mais, en passant d'un système à l'autre, ce solide change de structure moléculaire, et revêt chaque fois un nouveau caractère de symétrie. Il ne suffit donc pas de signaler l'une des formes géométriques d'un système, pour déterminer celui-ci[1], à moins que l'on ne s'arrête pas à la simple indication de la forme, et qu'on ne fasse en même temps connaître la corrélation de ses parties, telle qu'elle résulte de la constitution moléculaire du cristal; d'où il suit que la distincion des systèmes cristallins repose véritablement sur les différences de la structure.

Notre manière de voir intéresse aussi la physique générale, en ce qu'elle seule peut donner la clef de plusieurs propriétés particulières à certains cristaux (de l'électricité polaire, et de la polarisation circulaire, par exemple), comme aussi de quelques variations dans les propriétés générales, qui, jusqu'à ce jour, sont restées sans explication. On sent bien, en effet, qu'il doit exister une relation intime entre les propriétés physiques des cristaux et leur structure moléculaire. Mais, comme jusqu'ici, dans la recherche des lois de ces propriétés, la comparaison a toujours été établie directement avec la forme, et non pas avec la structure,

[1] Mohs et la plupart des cristallographes prétendent qu'un système cristallin est déterminé par une seule des formes qui le composent. (Voyez *Leichtfassliche Anfangsgründe der Naturgeschichte der Mineralreichs*, *Wien*, 1832, p. 165). Haüy a fait la remarque, fort juste, que lorsqu'on veut s'en tenir à la considération des formes géométriques, c'est leur ensemble seulement qui peut décider de l'identité ou de la distinction des deux systèmes. (*Traité de Crist.* tom. II, p. 421.)

il en résulte que quelques-unes de celles auxquelles on est arrivé par cette voie nécessitent des restrictions, parce qu'elles ne sont que l'exagération d'un fait, qui n'est vrai que dans un certain degré de généralité.

Le second changement que nous apportons à la théorie d'Haüy consiste donc à tenir compte des conditions physiques qui peuvent influer sur la symétrie, indépendamment de la forme, et qui sont la conséquence immédiate de la structure moléculaire. Ainsi que nous l'avons dit, Haüy dès le principe est entré dans la voie que nous nous proposons de suivre, en envisageant son sujet comme une question physico-mathématique; mais on le voit presque aussitôt s'en écarter. Une fois que, par le clivage, il est mis en possession de l'élément qu'il nomme *molécule intégrante*, sa théorie change à l'instant même de caractère : de physique qu'elle était à son début, elle redevient purement géométrique, comme celle des cristallographes allemands. La molécule intégrante n'est plus pour lui qu'un simple parallélipipède, et tous les cristaux de la même substance ne sont que des combinaisons diverses de pareils éléments.

La seule différence qu'il y ait à partir de ce point, entre la théorie d'Haüy et les théories allemandes, c'est que celles-ci ne s'occupent uniquement que des formes extérieures des cristaux et cherchent à les lier entre elles directement, sans aucun intermédiaire, tandis qu'Haüy parvient à établir la dépendance mutuelle de ces mêmes formes à l'aide d'une autre forme intérieure que lui donne le clivage, ou bien le calcul, dans les cas où le clivage fait défaut. Il semble que l'observation du caractère physique n'ait été pour lui qu'un moyen de résoudre ce problème : trouver un petit parallélipipède de dimensions telles, que toutes les formes cristallines du système puissent être reproduites par des assemblages de lames, composées de ces parallélipipèdes. Or, c'est là un problème abstrait, une question purement géométrique, qui est susceptible d'une infinité de solutions, comme Haüy lui-même le fait voir, par l'emploi de ses noyaux hypothé-

tiques et de ses molécules soustractives. Le clivage lui fournit l'une de ces solutions, après quoi toute considération physique disparaît. Nous n'ignorons pas qu'en dernière analyse un problème de physique doit finir par se transformer en une question de géométrie pure ou de mécanique rationnelle; mais cette transformation ne doit s'accomplir que lorsqu'on a tenu compte de toutes les conditions ou données expérimentales du problème, sans quoi l'on s'expose à obtenir des résultats inexacts, incomplets ou exagérés.

De tout ce qui précède il résulte que la théorie d'Haüy comporte deux modifications importantes, qui, loin de la dénaturer, la perfectionnent, selon nous, en lui restituant son caractère primitif et la rendant susceptible d'une plus grande extension. Ces modifications consistent à la débarrasser de considérations arbitraires, de suppositions gratuites, qui ont été pour elle une surcharge non-seulement inutile, mais encore nuisible : car elles ont entravé sa marche, et l'ont décréditée dans l'esprit de plusieurs savants, en diminuant à leurs yeux sa certitude. A la faveur des amendements que nous proposons, cette théorie s'étendra désormais à des phénomènes qui lui étaient demeurés étrangers jusqu'ici, tandis que d'autres faits, qu'elle avait tenté vainement d'expliquer, cesseront d'être pour elle des anomalies et rentreront sous les lois ordinaires de la cristallisation.

Ainsi modifiée, la théorie d'Haüy peut, sans contredit, être considérée comme l'une des théories physiques dont la vérité est établie de la manière la plus incontestable; car elle n'offre plus rien d'arbitraire ni d'hypothétique, si ce n'est toutefois la donnée première sur laquelle elle repose, savoir, l'existence des atomes. Encore peut-on remarquer à son avantage, qu'elle n'a pas eu besoin de se créer, comme d'autres doctrines, une hypothèse particulière, ayant été assez heureuse pour trouver son point de départ dans un principe commun, universellement admis dans la physique moderne, et qu'elle était en droit de regarder *a priori* comme une vérité démontrée, outre qu'elle pou-

vait par elle-même en fournir *a posteriori* la preuve la plus convaincante et la plus palpable.

Cette théorie, si simple et si lumineuse, et à laquelle on n'avait réellement à reprocher que le défaut d'être incomplète, a été presque généralement abandonnée par les cristallographes, surtout en Allemagne. L'espèce de répulsion constante qu'elle a éprouvée de la part des minéralogistes allemands a fait naître ensuite contre elle, en d'autres pays, des présomptions défavorables. Peut-être ne sera-t-il pas inutile d'indiquer ici la véritable cause qui a amené un pareil résultat. Si l'on a trouvé la théorie d'Haüy défectueuse, ce n'est pas du tout pour avoir remarqué, dans ses développements, une complication d'hypothèses, semblable à celle que nous avons nous-même relevée précédemment, mais bien à raison de l'hypothèse unique et fondamentale sur laquelle elle s'appuie en réalité, de l'hypothèse des atomes, qui lui est commune avec toutes nos théories physiques. Toute autre explication, qui procéderait du même principe, serait, par cela seul, frappée du même discrédit aux yeux des minéralogistes allemands.

Le motif de cette répugnance que les savants d'outre-Rhin manifestent généralement pour toute théorie moléculaire, il faut le chercher, selon nous, dans cette philosophie idéaliste, cette sorte de métaphysique de la nature, dont se préoccupent presque tous les esprits en Allemagne. De véritables sophismes, basés sur les *Antinomies*[1] de Kant, ont conduit les physiciens de ce pays à

[1] Ce n'est pas de nos jours seulement que les philosophes ont prétendu mettre, sur certains points, la raison en hostilité directe avec les sens; il y a plus de deux mille ans que des disputes semblables à celles qui divisent encore les *naturistes* de l'Allemagne et les physiciens du reste de l'Europe, partagèrent l'école d'Élée en deux sectes, celle des idéalistes, et celle des atomistes. Les premiers, pour soutenir leur doctrine, mettaient en avant certaines propositions contradictoires, que la raison paraissait établir avec une égale force, et que les antinomies modernes des kantistes n'ont fait que reproduire. Sans vouloir entrer ici dans une discussion devant laquelle nous ne reculerions pas, si nous la jugions nécessaire, nous nous bornerons à faire remarquer que le dynamisme a été tout à fait stérile pour les progrès de la philosophie naturelle, tandis que l'hypothèse atomistique a conduit aux plus belles découvertes, et a servi de base aux théories les plus exactes et les plus fécondes. Or, on le sait, les hypothèses, qui sont le fondement et le lien nécessaire des théories, ne se prouvent pas autrement que par leur fé-

préférer, dans l'étude et l'interprétation des phénomènes naturels, ce genre d'explications vagues et obscures, qu'ils nomment *dynamiques*, aux vues si claires et si précises, que nous fournit le système atomistique. Ils rejettent toute hypothèse, pour s'en tenir à l'expérience, ou mettent de vaines subtilités à la place de ces représentations nettes des phénomènes, de ces constructions simples des corps matériels, admises par la théorie newtonienne, et qui leur semblent trop mécaniques et trop grossières, parce qu'elles parlent aux sens en même temps qu'à la raison. Nous aurons plus d'une fois occasion, dans le cours de ces recherches, de faire allusion à quelques aperçus, en apparence séduisants, que le dynamisme a produits, et l'on verra que, dans les cas de ce genre, l'auteur allemand a pris le change sur la véritable explication du phénomène, toujours cachée, mais facile à reconnaître sous l'interprétation subtile qu'il en donne.

Nous pourrions maintenant commencer l'examen que nous nous proposons de faire des lois fondamentales de la cristallisation, au double point de vue de la physique et de la géométrie; mais, pour mieux prouver l'importance des changements que nous apportons aux idées généralement reçues, et l'utilité de recherches plus exactes et plus profondes sur la structure des cristaux, nous avons cru devoir nous borner, dans ce premier mémoire, à essayer, en quelque sorte, la valeur des principes précédents, en les appliquant à un petit nombre d'espèces minérales, que nous choisirons de préférence parmi celles qui sont connues depuis longtemps, et dont l'histoire, par les nombreux travaux auxquels elles ont donné lieu, semblerait devoir être complétement achevée. En voyant ce qu'il est possible d'y ajouter encore, et quelle lumière rejaillit de l'étude de la structure, sur des faits jusqu'à présent mal appréciés, ou même de-

condité et la justesse de leurs résultats. Au reste, nous renverrons les personnes qui voudraient avoir une idée du point de vue particulier sous lequel les dynamistes envisagent le sujet qui nous occupe, à l'ouvrage du docteur *Uhde*, publié à Brême en 1833, sous le titre de : *Versuch einer genetischen Entwickelung der mechanischen Krystallisation-Gesetse*, 1 vol. in-8° de 371 pages.

meurés sans explication, on jugera, je l'espère, de tout l'intérêt qu'il peut y avoir à se livrer à de pareilles recherches, soit pour la minéralogie, soit pour la physique générale.

Les espèces, que je me propose de soumettre à un examen rapide, sont : la *boracite*, la *tourmaline*, la *pyrite commune*, le *quartz*, et le *béryl*.

§ 1. BORACITE.

La boracite a été remarquée depuis longtemps pour la netteté de sa cristallisation et la singularité de ses propriétés physiques. Ses cristaux, fort petits, mais à contour parfaitement régulier, excluent toute idée d'imperfection sous le rapport de la forme. Cependant on a méconnu leur véritable symétrie, qui est celle des substances dont le type fondamental est le tétraèdre. On a prétendu qu'elle devait être celle des cubes ordinaires, dans lesquels les mêmes modifications se répètent sur tous les angles; et parce que leur forme dominante, qui est généralement celle d'un cube, paraissait toujours se modifier d'une certaine manière sur quatre des huit angles solides, qui répondent aux sommets d'un tétraèdre régulier, et d'une autre manière sur les quatre angles opposés aux précédents, on en a conclu qu'il y avait dans ces cristaux un défaut habituel de symétrie.

On a même élevé des doutes sur la réalité de la forme cubique, tant à cause de cette anomalie apparente, que pour un autre fait que j'indiquerai bientôt, et qu'il paraissait difficile de concilier avec cette forme. On a pensé que la forme dominante pouvait être un rhomboèdre extrêmement voisin du cube; mais il n'en est point ainsi. Outre que la symétrie générale des cristaux n'est nullement celle qui est propre aux espèces rhomboédriques, mais bien celle des substances tétraédriques comme le cuivre gris et la blende, je me suis assuré par les mesures les plus précises, variées et répétées un grand nombre de fois, puis combinées entre elles par la méthode de calcul que les géomètres indiquent comme la plus avantageuse, que la forme or-

dinaire des cristaux de boracite est bien réellement le cube, ainsi que le prétend Haüy.

Cet habile cristallographe regarde encore le cube comme étant la molécule intégrante de la boracite, et l'on sait que sous cette dénomination il comprenait la véritable molécule du corps. Mais s'il eût aperçu le clivage octaédrique, qui se montre aussi dans ce minéral, et peut-être même d'une manière plus sensible que le clivage cubique, il eût admis alors pour molécule un tétraèdre régulier. Nous l'avons déjà dit, la considération du clivage peut bien conduire à la connaissance de la *particule intégrante* du cristal [1], mais elle ne suffit pas pour déterminer la forme de sa molécule physique. Des molécules de forme tétraédrique peuvent tout aussi bien coexister avec un clivage cubique, que des molécules cubiques avec un clivage octaédrique. Que l'on substitue, par exemple, à chacun des petits cubes, dont Haüy compose son cristal de boracite, le tétraèdre inscrit dont les arêtes se confondent avec six des diagonales du cube, et les sommets avec quatre de ses angles solides (V. figures 3 et 4), et l'on aura un assemblage uniforme de tétraèdres disposés parallèlement entre eux, qui se prêtera évidemment aux mêmes divisions mécaniques que l'assemblage de cubes dont nous le supposons dérivé. Or, ce nouveau genre de structure, qui s'accordera tout aussi bien que le précédent avec le clivage, sera de plus parfaitement en rapport avec la symétrie des modifications, comme avec celle de toutes les propriétés physiques.

Haüy, en admettant, dans la boracite, des molécules cubiques,

[1] Les figures 1 et 2 représentent, relativement au plan, des structures semblables à celles que nous devons concevoir dans l'espace pour les substances à clivage cubique ou rhomboédrique. Les petits groupes moléculaires, tels que $m\ n\ p\ q$, sont les particules intégrantes, réunies et liées les unes aux autres par un enchaînement continu. Quant aux véritables molécules physiques, représentées dans les figures par des points, leur forme reste indéterminée : tout ce qu'on peut dire à son égard, c'est qu'elle doit s'accorder avec la symétrie propre à un pareil arrangement. Ainsi, dans le cas de la figure 1, ou plutôt de celle qui lui correspondrait dans l'espace, les molécules devront avoir trois axes égaux et rectangulaires, parallèles aux intersections mutuelles des plans de clivage; mais c'est là une condition commune à beaucoup de formes, et que peuvent réaliser bien des groupes différents d'atomes.

ne voyait aucune différence de structure entre cette substance et celles qui appartiennent au système ordinaire du cube, telles que le sel marin et la galène. Il supposait en conséquence que les forces de la cristallisation agissaient comme de coutume pour produire les mêmes modifications aux extrémités d'un même axe, mais que leur tendance se trouvait contre-balancée par l'action de forces étrangères, venant ajouter accidentellement leurs effets à ceux des premières. Et ces forces perturbatrices, dans le cas de la boracite et de la tourmaline, lui paraissaient devoir être celles qui, sous l'influence de la chaleur, donnaient lieu dans ces cristaux au développement de l'électricité polaire. Dès lors, la dérogation à la loi de symétrie n'était plus qu'apparente, et il en était de cette loi, dans les cas dont nous parlons, comme de celle de l'équilibre appliquée à une aiguille de boussole, dont les deux bras seraient parfaitement égaux en poids, et qui, cependant, ne pourrait se maintenir horizontale, après avoir été soumise à l'aimantation.

Frappé de la concomitance assez fréquente, mais non générale, de ces deux phénomènes, l'électricité polaire et l'hémimorphisme, il a cru pouvoir expliquer l'un au moyen de l'autre, et il est parvenu ainsi à sauver la difficulté, au moins en apparence, en la renvoyant du cristallographe au physicien. Mais si l'on examine le cas avec attention, on s'aperçoit bientôt que la difficulté subsiste tout entière, en ce que l'électricité polaire à son tour est inexpliquée, je dirai même plus, tout à fait inexplicable.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que dans les idées d'Haüy tout est parfaitement semblable aux deux extrémités d'une même diagonale, dans un cube de boracite. Dès lors comment concevoir dans ces parties identiques une opposition d'effets comme celle qu'y détermine le mouvement de la chaleur? On ne peut réellement supposer qu'il se manifeste des pôles électriques contraires aux extrémités d'un même axe, sans admettre en même temps qu'il y ait vers les deux sommets une différence physique, consistant, sinon dans un changement de

nature des molécules, au moins dans une relation différente des molécules extrêmes avec les parties de l'espace qu'elles regardent. Or, une telle différence existe, si l'on substitue au genre de structure adopté par Haüy, celui que nous avons indiqué précédemment et auquel tous les faits, tant physiques que cristallographiques, conduisent de la manière la plus évidente, parce que tous en sont une conséquence naturelle.

Concevons donc que le cube de la boracite soit composé de particules intégrantes cubiques, comme on le voit fig. 3, et que dans ces particules on inscrive semblablement des tétraèdres réguliers, qui seront pour nous les véritables molécules physiques, dès lors l'assemblage de cubes (fig. 3) sera remplacé par la combinaison de tétraèdres, représentée fig. 4, et dont la forme générale est encore le cube. Cette combinaison de tétraèdres est soumise à la loi du parallélisme des axes moléculaires, joint à une distribution uniforme des centres, loi qui s'applique à tous les cristaux connus sans exception[1]. La figure 7 représente un tétraèdre régulier de boracite ou de cuivre gris, avec la même structure intérieure; on suppose toujours que les molécules soient rapprochées jusqu'au contact, auquel cas leurs arêtes sont continues les unes aux autres.

Si l'on porte l'attention sur les files moléculaires qui sont situées dans la direction des diagonales du cube, et que représentent les figures 5 et 6, on verra que dans chacune de ces files les molécules tournent leurs pointes vers une des extrémités et

[1] Haüy paraît avoir méconnu l'importance de cette loi, qui est selon nous la base fondamentale de la théorie de la structure. Il lui est arrivé souvent de l'enfreindre sans nécessité, par exemple, dans le cas de la fluorine et des autres substances à quadruple clivage, comme on peut le voir dans l'article de l'*octaèdre*, que nous avons rédigé d'après ses propres principes, et qui fait partie du second volume de son Traité de cristallographie. On sait qu'il s'était cru obligé de choisir la molécule de la fluorine entre les deux formes du tétraèdre et de l'octaèdre, afin d'expliquer le phénomène du clivage tel qu'on l'observe dans ces substances; mais nous avons prouvé que la véritable explication du phénomène n'exige rien de semblable. Il est à remarquer qu'Haüy donne l'exclusion à l'octaèdre précisément dans la circonstance où la symétrie s'accommoderait fort bien de cette forme; d'un autre côté, il adopte le tétraèdre dans un grand nombre de cas où la symétrie lui est tout à fait contraire, et ne l'admet pas toujours là où elle semble le demander impérieusement.

leurs bases vers l'autre, et qu'il résulte par conséquent d'une pareille structure une sorte de polarité dans les sommets opposés du cristal, qui évidemment ne se trouvent point dans les mêmes conditions physiques, quoique formés tous deux des mêmes molécules; en effet, dans l'un les molécules se présentent par un de leurs angles à la région de l'espace qu'elles regardent, tandis que dans le sommet opposé elles se présentent par leurs bases, c'est-à-dire par le côté le plus large, et dans une position précisément inverse.

Cette différence physique une fois reconnue, les prétendues anomalies de forme disparaissent; l'hémi-morphisme est expliqué; il n'est qu'une application particulière de la loi générale à certains cristaux, dans lesquels la symétrie réelle, basée sur l'identité absolue, diffère de la symétrie apparente qui se rapporte purement à la forme.

Mais il y a plus : l'électricité polaire, ce phénomène sur la cause duquel les physiciens ne se sont pas prononcés jusqu'à présent, est facile dès lors à concevoir. On aperçoit clairement la raison physique de cette singulière polarité, lorsqu'on réfléchit aux résistances diverses que doivent offrir aux mouvements des fluides de la chaleur et de l'électricité de pareilles files de molécules, selon que ces fluides parcourent le milieu dans un sens ou dans le sens contraire. On n'est plus surpris de rencontrer des propriétés physiques différentes dans des parties, de forme semblable à la vérité, mais où les molécules se présentent dans des états divers et opposés.

Ainsi l'électricité polaire et l'hémi-morphisme n'ont point entre eux la relation de cause à effet, qu'Haüy leur suppose; mais ces phénomènes sont tous deux des conséquences d'un même fait primitif, qui a échappé à ce cristallographe, savoir d'une forme et d'une disposition particulière des molécules; en un mot, d'un certain mode de structure qui paraît appartenir jusqu'à présent à un très-petit nombre de substances naturelles.

On peut généraliser l'explication précédente, en disant que

pour qu'une substance cristallisée manifeste la polarité électrique aux deux extrémités d'un même axe, il faut que les files moléculaires, parallèles à cet axe, ne présentent point une disposition pareille et symétrique de part et d'autre d'un plan qui lui serait perpendiculaire. Tel est très-probablement, comme nous le verrons plus bas, le cas des molécules qui composent les aiguilles ou fibres longitudinales des tourmalines.

Nous devons cependant faire observer que, si la circonstance précédemment énoncée semble être une condition *sine qua non* de la production du phénomène, elle ne suffit pas pour le déterminer, et qu'il faut ici, comme pour d'autres cas où se manifestent des propriétés électriques, ajouter comme condition nouvelle, que la substance soit un mauvais conducteur de l'électricité. Ainsi, la polarité électrique ne se rencontre point dans les cristaux de cuivre gris, ni de pharmacosidérite, quoique leur structure soit analogue à celle des cristaux de boracite. On pourrait, tout au plus, la soupçonner dans les minéraux tétraédriques, qui, comme le blende et l'helvine, sont situés, pour ainsi dire, sur la limite commune des substances vitreuses et des substances métalliques. Je me suis assuré, en effet, que cette dernière en offre des traces sensibles.

Mais il est encore une distinction qu'il importe de noter ici, c'est qu'on ne doit point confondre, comme l'a fait M. Brewster, l'espèce de pyro-électricité dont nous parlons, et qui se montre très-rarement, avec cette autre pyro-électricité fort commune, qui s'observe dans un grand nombre de substances, cristallisées ou non, organiques ou inorganiques. La pyro-électricité polaire est la seule qui soit dans une dépendance évidente de la structure cristalline; quant à la seconde sorte de propriété pyro-électrique, ce n'est qu'un phénomène ordinaire de tension électrique, dû à un changement d'état ou d'équilibre des particules du corps, et dans la production duquel la chaleur n'intervient que comme cause occasionnelle. Bien loin que par ces observations récentes la liste des cristaux véritablement pyro-

électriques ait reçu depuis Haüy une augmentation notable, peut-être faudra-t-il en abaisser le nombre au-dessous de celui qu'il a fixé dans son ouvrage, car nous avons tout sujet de croire que les minéralogistes eux-mêmes n'ont pas toujours su éviter l'espèce de confusion que nous avons signalée dans une des recherches du physicien d'Édimbourg.

De la structure moléculaire que nous assignons à la boracite, on peut conclure *a priori* que cette substance et généralement tous les cristaux tétraédriques ne doivent point offrir le même degré de cohésion, ni, par conséquent, de dureté, dans les directions parallèles aux deux diagonales d'une même face de cube, malgré l'égalité géométrique de ces deux lignes. On sait que c'est à Huyghens que l'on doit la première observation de ces différences de dureté dans les cristaux, constatées depuis par d'autres physiciens, et qu'il a même été assez heureux pour remarquer une variation de cette espèce, dans la circonstance où elle était le plus inattendue, savoir dans une seule et même ligne, selon que le corps rayant la parcourait dans un sens, ou dans le sens opposé. Dans son important ouvrage sur la cohésion[1], le docteur Frankenheim cite un grand nombre d'expériences qu'il a faites pour établir les rapports de cette propriété avec d'autres manifestations de la cohésion, comme le clivage, par exemple, et surtout avec la symétrie de la forme; mais on ne voit point qu'il ait soupçonné la différence qu'il doit y avoir entre les cubes des substances à modifications hémiédriques et ceux des substances à modifications homoédriques. J'ai cherché, en employant le mode d'expérimentation dont il a fait usage, à reconnaître cette différence dans la boracite, mais elle est, sans doute, extrêmement faible, et je n'ai pu obtenir de résultat bien décisif. J'aurai néanmoins plus d'une fois occasion, dans le cours de ces recherches sur la structure, de signaler l'importance de pareils essais, que je désignerai, à l'avenir, pour abréger,

[1] *Die Lehre von der Cohæsion*, Breslau, 1835.

sous la dénomination d'*essais sclérométriques*[1]. Dans certains cas, ils pourront suppléer cet autre moyen d'investigation, dont la science est redevable à M. Savart, et que cet habile physicien a appliqué d'une manière si heureuse à l'étude de la structure du quartz, mais qui, par les conditions qu'il exige, ne pourra être pratiqué que bien rarement par les minéralogistes.

La différence de valeur physique qui existe, selon nous, entre les deux diagonales d'un même carré dans les substances tétraédriques, et que nous retrouverons chez beaucoup d'autres, entre des lignes d'ailleurs égales et semblablement situées, s'annonce quelquefois à la vue par un caractère auquel on n'a pas toujours accordé l'attention qu'il mérite; je veux parler des stries, que l'on a regardées généralement comme une imperfection de la cristallisation, et dans lesquelles Naumann aperçoit comme l'effet d'une sorte de combinaison oscillatoire. Quelle que soit la manière dont on les envisage, il est certain qu'elles sont toujours en rapport avec la structure moléculaire, et qu'elles peuvent donner lieu à des observations précieuses, en contribuant à nous dévoiler des différences, qui échapperaient complétement à nos yeux, si les faces étaient parfaitement lisses. Dans les cubes appartenant au système homoédrique, on n'observe point ordinairement de stries parallèles aux diagonales, et l'on conçoit que, s'il y en avait, elles se montreraient à la fois dans les deux directions, à cause de la parfaite identité des lignes moléculaires qui leur correspondent. Mais dans les cubes des substances tétraédriques, il n'en est plus ainsi; et les stries peuvent apparaître dans une des directions, sans se manifester dans l'autre. C'est, en effet, ce qui a lieu, sinon dans la boracite, où je n'ai pu encore les observer, du moins dans les cristaux de

[1] On pourrait donner le nom de *scléromètres* aux instruments du genre de ceux dont Muschenbroek et le docteur Seebeck se sont servis pour estimer la dureté, et dans lesquels on détermine par un poids la force qui sollicite le corps avec lequel le cristal est rayé. Il importe, toutefois, de remarquer que, pour le but qu'on se propose ici, les instruments dont on a besoin doivent donner de simples indications des différences, et non de véritables *mesures* des degrés de la dureté.

blende, qui montrent quelquefois ces stries diagonales, sur celles de leurs faces qui répondent au cube, disposées comme on le voit fig. 8.

Il me reste maintenant à parler de la manière dont se comportent la boracite et les autres espèces de structure analogue, sous le rapport des propriétés optiques. On connaît cette loi, qui se trouve formulée dans tous les ouvrages de physique et de minéralogie, et d'après laquelle toute substance cristallisée en cube ou sous l'une des formes dérivées du cube, serait dépourvue de pouvoir polarisant et biréfringent, et agirait, à l'égard de la lumière, comme si elle n'était pas cristallisée. Cet énoncé est beaucoup trop général, parce que, sous la même forme extérieure, peuvent se rencontrer des différences essentielles de structure dont on n'a pas tenu compte. La loi précédente ne souffre guère d'exception, quand on se borne à l'appliquer aux espèces du système régulier à modifications homoédriques, qui se clivent et cristallisent en cube ou en octaèdre, telles que la fluorine, l'alun, le sel marin, etc. mais elle paraît être en défaut relativement à celles qui affectent plus particulièrement la forme du dodécaèdre ou du trapézoèdre[1], et surtout à l'égard des substances cubiques, qui possèdent le genre de structure décrit plus haut, et dont les cubes, en se modifiant sur leurs angles, passent au tétraèdre.

Parmi ces substances, deux seulement sont transparentes; ce sont la boracite et la blende : toutes deux, lorsqu'elles sont réduites en lames et placées dans le polariscope à tourmalines, dépolarisent complétement la lumière. M. Brewster a même annoncé qu'il avait reconnu, dans la boracite, l'existence d'un axe optique dans la direction d'une des quatre diagonales du cube : le peu d'essais que j'ai pu faire sur une substance qu'il est si rare de rencontrer en cristaux transparents ne m'ont permis d'apercevoir jusqu'ici aucun phénomène de coloration propre à vérifier le fait. Mais, comme il est impossible de révoquer en doute un résultat d'expérience mentionné par un observateur aussi ha-

[1] L'analcime, l'amphigène, certains grenats.

bile, je ferai remarquer que ce résultat ne saurait être admis tel qu'on l'a présenté et sans modification ; ou bien le fait annoncé dépend d'un de ces accidents de structure ou d'une de ces altérations que M. Brewster a lui-même observées dans quelques substances cubiques (dans le diamant, par exemple), et alors il n'a pas l'importance qu'on lui attribue, puisqu'il est étranger à la véritable structure de la substance ; ou bien, s'il en dépend réellement, l'observation de M. Brewster est incomplète ; car, d'après la structure propre à la boracite, et les exigences de sa symétrie, il est impossible qu'il existe un axe optique dans une des quatre diagonales, sans qu'il y en ait un semblable dans les trois autres. Nous ne prétendons pas que la boracite soit réellement une substance à quatre axes optiques, nous soutenons seulement qu'il est impossible d'en admettre un dans une certaine direction, sans en concevoir en même temps trois autres dans des directions correspondantes, indiquées d'avance et par la symétrie de la forme et par celle de la structure [1].

Une substance comme la boracite, qui présente un mode de structure aussi remarquable et si différent de ceux que l'on a admis jusqu'à présent dans les cristaux, mériterait un examen tout

[1] Les phénomènes optiques des cristaux sont la conséquence immédiate de la loi de distribution de l'éther entre leurs particules. Ils paraissent dépendre exclusivement de la nature du milieu éthéré, lequel, à la vérité, est ici subordonné dans sa constitution à celle d'un autre milieu qu'il pénètre, le milieu cristallisé. Quelle que soit l'influence de ce dernier, elle ne va pas jusqu'à rendre parfaitement semblable, sous le rapport de l'élasticité, la loi constitutive des deux milieux ; et l'éther se distingue généralement par sa tendance à un état plus simple et plus uniforme. Il résulte en effet des expériences de M. Savart, que, dans les cristaux simplement réfringents, l'élasticité varie avec la direction, bien que celle de l'éther interposé soit la même en tout sens ; que dans les cristaux biréfringents à un axe optique, toutes les lames parallèles à l'axe n'offrent pas le même état élastique, quoique l'observation et la théorie établissent cette identité pour les plans correspondants du milieu éthéré. La même forme simple et régulière pouvant être le résultat de plusieurs structures essentiellement diverses, on conçoit que l'influence exercée par ces structures sur la distribution de l'éther puisse amener dans ce milieu des changements de constitution qui donnent lieu à des phénomènes optiques d'ordre tout différent. Ainsi, de ce que certaines substances cubiques seraient de nature à pouvoir rendre sphérique la surface d'élasticité de l'éther et, par suite, celle des ondes lumineuses, on ne saurait inférer que d'autres substances de la même forme extérieure, mais d'une structure différente, produiront exactement le même effet sur l'éther.

particulier de la part des physiciens qui s'adonnent spécialement aux recherches optiques. Je ne doute pas qu'une pareille étude ne les conduise à des résultats inattendus et importants pour la théorie de la lumière.

Que si l'on argumentait, contre la probabilité de tels résultats, de l'état présent de nos connaissances théoriques sur les phénomènes de polarisation et de double réfraction, nous ferions observer qu'une théorie, si parfaite qu'on la suppose, ne peut être vraie que dans les limites des hypothèses qui lui servent de base; or les physiciens et les géomètres qui se sont occupés jusqu'à présent de recherches sur ce sujet nous semblent avoir admis, plus ou moins implicitement, certaines conditions restrictives qui ont eu pour effet de diminuer la généralité de leurs résultats; telle est, par exemple, la supposition que dans un milieu cristallisé les molécules d'une même file offrent toujours une disposition parfaitement semblable, de part et d'autre, du centre de l'une quelconque d'entre elles. Cela est vrai du plus grand nombre des cristaux connus, mais ne saurait convenir à tous, surtout à ceux qui ont une structure tétraédrique. Cette remarque n'a point échappé à M. F. E. Neumann de Kœnigsberg, qui est connu à la fois comme physicien distingué et comme habile cristallographe. En consultant le mémoire qu'il a publié en 1832, dans les Annales de Poggendorf[1], et où il reproduit d'une autre manière la théorie de la réfraction multiple donnée par M. Cauchy en 1830, on verra qu'il établit une distinction fort juste entre le cas des cristaux homoédriques, auquel seul peuvent s'appliquer les théories actuelles, et les cristaux hémiédriques qu'il se réserve de considérer plus tard comme devant être l'objet d'une théorie particulière.

Nous avons supposé jusqu'à présent que la forme de la molécule de la boracite était le tétraèdre régulier (fig. 9); à la rigueur, tous les faits que nous avons pris en considération s'expliqueraient avec la même facilité, si à cette forme simple nous substituions

[1] *Annalen der Physik, von Poggendorff*, tom. XXV, p. 418; 1832.

une de celles qui en dérivent symétriquement, telle que le *tétratrièdre* (fig. 10)[1]. Ainsi, par l'analyse des propriétés physiques d'un cristal, on arrive à déterminer, non l'espèce, mais le genre de forme de sa molécule, c'est-à-dire la nature de sa symétrie et le système de ses lignes principales. Or c'est là une donnée d'une importance telle, que la connaissance complète de la forme ajouterait peu à l'utilité dont elle peut être pour l'explication des phénomènes de la physique minérale. Lors donc qu'on n'a égard qu'aux seuls caractères physiques d'une espèce, on est libre de prendre, parmi toutes les formes de son système cristallin, celle que l'on veut pour représenter la molécule, pourvu qu'on lui assigne sa véritable symétrie; et comme, à raison de la tendance générale que montre la nature pour les résultats simples, on ne peut guère douter que la véritable forme de la molécule ne soit une des formes élémentaires du système, on restera bien près de la vérité, si on ne la rencontre pas, en choisissant la forme la moins compliquée, et c'est ce que nous avons fait ci-dessus pour la boracite; mais nous aurions pu tout aussi bien adopter pour type moléculaire, soit le tétratrièdre (fig. 10), soit même le cube (fig. 11); seulement, dans ce dernier cas, il deviendrait nécessaire d'indiquer par une notation particulière, semblable à celle de la figure 12, la différence qui existerait entre la symétrie réelle de ce cube, considéré physiquement, et la symétrie apparente du même solide, envisagé seulement comme corps géométrique.

Si l'on adopte la forme tétraédrique, on pourra se figurer la molécule comme constituée par quatre atomes d'une même sorte, groupés symétriquement autour d'un centre, lequel restera vide de toute matière pondérable ou sera occupé par un atome d'espèce différente (fig 13). On pourrait aussi la composer de six atomes oblongs (fig. 14), placés aux extrémités des trois axes

[1] Le tétrakis-trièdre ou tétraèdre pyramidé des Allemands. J'adopte ici la nomenclature par les facteurs, maintenant en usage parmi les cristallographes allemands; mais, pour plus de simplicité, je supprime la terminaison grecque *akis*, à l'exemple d'Haüy, qui a nommé *hexatetraèdre* le cube pyramidé de la fluorine.

rectangulaires, de manière que les atomes représentant les pôles d'un même axe aient des directions croisées comme les diagonales de la figure 12. Si l'on choisit pour type le tétra-trièdre, la surface de la molécule pourra être formée par quatre atomes d'une certaine nature qui occuperont les sommets A (fig. 10), et par quatre atomes d'une nature différente, occupant les sommets B; et comme ces points B peuvent se trouver à une distance du centre plus ou moins grande, on conçoit la possibilité d'un cas particulier où les quatre atomes B seront juste à la même distance du centre que les atomes A. A cette limite, le tétra-trièdre (fig. 10) prendra la forme du cube (fig. 11), lequel sera encore constitué dans sa périphérie par quatre atomes A d'une espèce, situés comme les sommets d'un tétraèdre, et par quatre atomes B d'une autre espèce, situés entre eux de la même manière, mais diamétralement opposés aux premiers.

On voit par là que le cube des substances tétraédiques n'est qu'une limite de la série des tétra-trièdres, et que, sous le rapport de la symétrie et de la manière dont ses modifications peuvent avoir lieu, il doit être considéré comme un tétra-trièdre. Il est aux tétra-trièdres en général, ce que serait à l'égard d'un rhomboèdre aigu de 60° et 120° celui qui en dériverait par la troncature tangente des arêtes terminales; considéré comme forme géométrique, ce serait un cube, mais, sous le rapport cristallographique, il devrait être envisagé comme un véritable rhomboèdre, et partant conserver la notation propre à cette dernière forme.

Nous avons vu que, par les seules considérations physiques et cristallographiques, on ne pouvait réellement déterminer que le genre du type moléculaire, c'est-à-dire qu'un groupe de formes simples, parmi lesquelles ce type est très-probablement compris. Peut-on espérer d'aller plus loin et d'arriver à connaître, pour certaines combinaisons minérales, le véritable type spécifique de leur molécule? Nous croyons qu'on y parviendra quelque jour, mais ce ne sera qu'en combinant les données physiques et cris-

tallographiques avec les résultats les plus certains de la théorie chimique des atomes. Nous avons réussi à construire géométriquement certaines formules atomiques, en cherchant à mettre d'accord les indications de la cristallographie et de la chimie, sans faire violence en aucune manière aux idées reçues dans l'une et l'autre science. Mais ce n'est point le cas de parler ici de ces tentatives, dont l'exposé trouvera plus naturellement sa place dans une autre partie de nos recherches.

§ 2. TOURMALINE.

Les détails dans lesquels je suis entré sur la structure de la boracite me permettront d'être plus bref, dans ce que j'ai à dire de quelques autres substances, et notamment de la tourmaline, dont la structure présente une certaine analogie avec celle de l'espèce qui précède; car elle offre, à l'égard des substances rhomboédriques ordinaires, un hémi-morphisme de même genre que celui de la boracite relativement aux substances cubiques proprement dites.

Nous avons vu qu'un cube pouvait être considéré comme résultant de la réunion de deux tétraèdres réguliers, en position inverse l'un par rapport à l'autre, et formés chacun de quatre atomes semblables. Si les deux tétraèdres composants, dont les centres se confondent, et qui sont géométriquement égaux, sont, en outre, physiquement identiques, c'est-à-dire formés l'un et l'autre d'atomes de même nature, le cube appartient au système cubique ordinaire, ou système régulier à modifications homoédriques. Mais si les atomes de l'un des tétraèdres diffèrent de nature avec ceux de l'autre tétraèdre, comme on le voit figures 15 et 17, dans ce cas, le cube résultant a la structure représentée par la figure 16, et cette espèce particulière de cube, qui est celui de la boracite, appartient alors au système régulier hémiédrique à faces inclinées, autrement dit système *tétraédrique*.

De même, un rhomboèdre (fig. 18) peut être considéré comme

une combinaison de deux pyramides régulières (tétraèdres droits à base équilatérale) (fig 20 et 21), en position inverse l'une à l'égard de l'autre; chaque tétraèdre ayant son sommet formé d'un atome A d'une certaine espèce, et sa base constituée par trois atomes B d'une espèce différente.

Si les deux tétraèdres qui se réunissent sont égaux physiquement, le rhomboèdre résultant appartient au système rhomboédrique ordinaire (tel est celui du calcaire spathique). Remarquons, en passant, qu'on pourrait aussi supposer une molécule rhomboédrique comme formée de six atomes d'une seule espèce (fig. 19), en supprimant les atomes A des sommets; ce qui revient à transformer la molécule en un rhomboèdre basé ou octaèdre droit, à base équilatérale. Si les atomes des deux pyramides diffèrent de nature, comme le marque la figure 18, on a, dans ce cas, un rhomboèdre à structure particulière, dans lequel des différences physiques doivent se manifester entre les deux sommets et entre les angles latéraux pris trois par trois; ce qui produit un changement complet de symétrie et donne naissance à un nouveau système de formes, qui sont généralement, par rapport à celles du système rhomboédrique ordinaire, des formes hémiédriques à faces inclinées. Les plus simples sont des prismes droits triangulaires et des pyramides droites, à base équilatérale.

Appliquons ces considérations générales au cas de la tourmaline. On sait que les cristaux de cette espèce (ou plus exactement de ce genre minéral) ont été rapportés par tous les cristallographes au système rhomboédrique, avec la condition particulière d'une hémiédrie, qu'accompagne encore l'électricité polaire. Cette hémiédrie est tout à fait semblable à celle que nous a offerte la boracite ; seulement elle se borne ici à un seul axe (ou axe principal), au lieu de s'étendre à quatre axes égaux, comme celle de l'autre espèce. Il était naturel qu'Haüy cherchât à l'expliquer de la même manière, en rejetant l'hémimorphisme sur le compte de la pyroélectricité. Mais, d'après les considérations

précédentes, il devient évident que l'une et l'autre propriété sont encore ici des conséquences d'un seul et même fait primitif, qui est la structure particulière des molécules du cristal. Que l'on adopte en effet pour molécule de la tourmaline, soit le tétraèdre trigonal (fig. 20), soit le rhomboèdre (fig. 18) composé d'atomes de deux espèces, et tout s'explique à la fois, tant la symétrie qui caractérise le système des formes, que les propriétés physiques de la substance elle-même. Ainsi, la tourmaline a exactement les mêmes rapports physiques et géométriques avec les espèces rhomboédriques ordinaires, que la boracite avec les espèces cubiques proprement dites.

On remarquera que les lames perpendiculaires à l'axe de la tourmaline ont une structure telle, que les deux faces de chaque lame diffèrent physiquement l'une de l'autre, et, par conséquent, doivent offrir des degrés différents de cohésion et de dureté. Il en serait absolument de même des lames perpendiculaires à l'un quelconque des axes électriques de la boracite.

§ 3. PYRITE.

La pyrite commune ou pyrite cubique se distingue des espèces cubiques ordinaires et de celles qui appartiennent au système tétraédrique par des caractères particuliers de structure et de forme, qui ne se sont encore reproduits que dans une autre substance métallique, la cobaltine (ou cobalt gris). Sous le rapport de la symétrie, le cube de la pyrite est une forme en quelque sorte intermédiaire entre le cube proprement dit, et le parallélipipède rectangle; on peut le considérer comme une limite qu'aurait atteinte ce dernier genre de forme, en supposant que l'inégalité de ses trois côtés ait diminué successivement jusqu'à s'évanouir tout à fait, et que cependant les diverses parties du solide aient conservé la même structure et la même symétrie. Il résulte de là que le système cristallin de la pyrite se compose d'un certain nombre de formes, qui rappellent celles du système

cubique ordinaire, et de quelques formes particulières et caractéristiques, telles que l'*hexa-dièdre* (ou dodécaèdre pentagonal) et le *dodéca-dièdre* (ou trapézoèdre à faces non symétriques), formes qu'on ne peut dériver du cube par les modifications ordinaires. Pour les minéralogistes allemands, c'est une nouvelle sorte d'hémiédrie qui donne naissance à des formes dont les faces sont toujours deux à deux parallèles; pour Haüy et d'autres cristallographes, c'est encore un défaut de symétrie pour lequel ils n'ont pu trouver d'explication plausible: car il n'y a point ici d'électricité polaire, et cette absence n'est pas, comme pour le cuivre gris, l'effet de la propriété conductrice de la substance; elle est la conséquence même de la structure du corps, qui ne permet pas ce mode d'électrisation, parce que toutes les files moléculaires ont leurs deux extrémités parfaitement semblables.

Haüy a mis en usage toutes les ressources de son esprit pour faire croire qu'il n'y avait point dans la pyrite de dérogation réelle à la loi de symétrie. Il est bien clair cependant que la loi de symétrie, telle qu'il l'a formulée, celle qui se rapporte à la forme purement géométrique, n'a point été observée dans la production du dodécaèdre à plans pentagones; mais la cristallisation a obéi à la symétrie véritable, à celle qui se fonde sur l'identité de forme et de nature physique tout ensemble.

La structure du cube de la pyrite est telle, que les diverses faces de ce cube sont parfaitement semblables, non-seulement par leur forme, mais encore par leur tissu moléculaire; et cependant tout n'est pas disposé symétriquement ou de la même manière de part et d'autre de chaque arête. Il faudrait, pour rétablir pleinement la symétrie bilatérale, faire exécuter à l'un des plans moléculaires extrêmes un quart de révolution sur lui-même, comme il résulte de la notation de la figure 22. Par conséquent, les lignes véritablement homologues, sur deux faces adjacentes, sont celles qui se croiseraient à angles droits, si l'on venait à rabattre les deux faces sur un même plan. Les deux lignes bb, $b'b'$, qui sont perpendiculaires l'une à l'autre sur la même face,

ne sont point dans les mêmes conditions physiques, quoiqu'elles aient même longueur. Aussi, lorsque des stries apparaissent sur les faces du cube parallèlement aux arêtes, elles se montrent seulement dans l'une de ces directions bb ou $b'b'$, et présentent, dans leur ensemble, cet entrecroisement remarquable que l'on voit figure 23, et qui a fixé l'attention des physiciens et des naturalistes, depuis Sténon et Mairan, jusqu'aux cristallographes de nos jours.

Nous avons vu ci-dessus que l'on pouvait concevoir la molécule cubique ou tétraédrique de la boracite comme dessinée par six atomes oblongs (fig. 14), disposés parallèlement aux stries diagonales de la figure 8. Que l'on imagine de même six atomes oblongs, placés non plus dans le sens des diagonales, mais parallèlement aux arêtes (fig. 24), et par cette structure moléculaire, qui a quelque rapport avec celle qu'a supposée Mairan, dans son Traité de la glace, on parviendra à se rendre compte de toutes les particularités de l'histoire physique de la pyrite.

Il est facile de voir que toutes les arêtes du cube (fig. 22), quoique formées par des faces géométriquement égales, se comporteront dans les modifications comme le feraient les arêtes d'un parallélipipède rectangle, c'est-à-dire qu'elles donneront naissance à une facette solitaire, inégalement inclinée sur les faces adjacentes; de là l'*hexadièdre*, forme hémiédrique à l'égard de l'hexatétraèdre du système régulier. D'une autre part, chacun des angles plans bAb', se comportera, malgré l'égalité géométrique de ses côtés, comme le ferait un angle plan de parallélipipède rectangle, c'est-à-dire comme si ses côtés étaient inégaux; en sorte que, s'il se produit sur l'angle A une troncature qui vienne couper obliquement les deux arêtes Ab et Ab', elle ne devra pas se répéter en sens contraire sur le même angle plan; seulement, à cause de l'identité des trois angles plans qui forment un même angle solide, il naîtra autour de chaque angle solide trois facettes semblables qui affecteront une disposition rotatoire dans le même sens. L'ensemble des facettes produites sur les huit angles don-

nera un *dodécadièdre*, forme hémiédrique à l'égard du dodécatétraèdre du système régulier.

Cette sorte de rotation qui se manifeste dans la disposition des facettes modifiantes de la pyrite cubique, a lieu ici autour de chacun des quatre axes qui passent par les angles solides opposés du cube, et que Mohs appelle des axes rhomboédriques. Nous allons bientôt retrouver une disposition analogue dans les modifications d'un autre minéral (le quartz), dont les formes peuvent être rapportées au rhomboèdre; mais, dans ce cas, elle ne s'observera qu'autour d'une seule ligne, par la raison qu'il y aura, dans le système, un axe principal auquel toute la symétrie sera subordonnée.

Les seules espèces connues jusqu'à présent, qui aient offert le genre de structure dont il vient d'être question, sont des substances métalliques et par conséquent opaques. Si l'on venait à la découvrir dans quelque substance vitreuse et transparente, il serait curieux d'observer l'influence que cette singulière structure pourrait avoir sur les propriétés optiques du minéral.

Il nous paraît clairement établi, par ce qui précède, qu'il existe réellement trois systèmes cristallins différents, dans chacun desquels le cube et l'octaèdre se rencontrent, et dont la distinction repose sur des différences essentielles de structure, entraînant des modifications importantes dans toutes les propriétés physiques. Dans chaque système, la constitution atomique de la molécule, ainsi que la structure interne des cristaux qui présentent une même forme extérieure, est différente. Lorsqu'une forme est ainsi commune à plusieurs systèmes, si on la considère sous le rapport de la manière dont elle se modifie pour engendrer les autres, on trouve que la symétrie de cette forme, et par conséquent la distinction de ses parties identiques, varie d'un système à l'autre, en sorte que la symétrie réelle est loin d'être toujours d'accord avec cette symétrie apparente telle qu'Haüy l'entendait, qui se rapporte exclusivement à la forme géométrique. Mais, comme pour chaque système cristallin il existe toujours certaines

formes, dans lesquelles les deux symétries se confondent, il semble convenable de choisir parmi elles celle qui doit servir de type et donner son nom au système.

D'après cela nous dirons qu'il y a trois systèmes différents, dans lesquels la particule intégrante peut être le cube ou l'octaèdre, mais où la molécule physique varie de forme ou de structure : le premier est le système *octaédrique*, qui a pour type l'octaèdre régulier, et dont la molécule physique peut être représentée par le groupe d'atomes figure 25; le second est le système *tétraédrique*, dont la forme fondamentale est le tétraèdre régulier, et dont la molécule est représentée par la figure 13 ou la figure 14; le troisième est le système *hexadiédrique*, qui a pour forme fondamentale l'hexadièdre (ou dodécaèdre pentagonal), et dont la molécule peut être représentée par la figure 24.

§ 4. QUARTZ.

Le système cristallin du quartz se distingue de tous ceux que l'on connaît par des caractères particuliers qui sont en rapport avec les singularités de sa structure physique et de ses propriétés optiques. Le clivage peu sensible de ce minéral a laissé Haüy pendant quelque temps indécis sur la nature de sa véritable forme primitive : dans le tome I de son Traité de minéralogie (1re édit.) il admet pour type le dihexaèdre (ou dodécaèdre bipyramidal), mais dans le second volume du même ouvrage il s'arrête définitivement à la forme rhomboédrique, et on le voit expliquer par des lois de décroissement différentes, mais combinées, la génération des facettes x, x', de la variété *plagièdre*, qui se trouvent avoir des positions non symétriques relativement au rhomboèdre primitif, quoiqu'elles soient situées semblablement par rapport au cristal secondaire. Depuis lors, presque tous les cristallographes se sont accordés sur la préférence à donner à la forme rhomboédrique, et ce choix a été confirmé, comme on le sait, par les belles expériences de M. Savart, qui ont démontré une

différence de nature physique entre les faces prises trois à trois sur le même sommet pyramidal.

Mais, quoique le système rhomboédrique soit de tous les systèmes cristallins connus celui qui est le plus près de représenter les formes du quartz, il est certain, cependant, que le système de cette espèce minérale a quelque chose de particulier qui ne peut manquer de frapper un observateur attentif. Déjà depuis longtemps M. Weiss a fait remarquer la marche singulière que suit ce système dans le développement de ses zones diverses[1], sa tendance à produire des faces dans la zone verticale, l'absence complète de modifications sur les sommets et les arêtes culminantes, et la manière d'être générale des faces dérivées qui ne se montrent que vers les parties latérales, et toujours dans un état de subordination, à l'égard des plans fondamentaux, si l'on en excepte toutefois les pans du prisme. Il a signalé, de plus, la disposition spirée ou rotatoire que présentent les facettes x ou x' de la variété plagièdre, appartenant à deux zones différentes qui se croisent dans les facettes s de la variété *rhombifère* (H), et tellement indépendantes l'une de l'autre que les facettes x, qui s'inclinent dans un sens, ne paraissent d'ordinaire que sur certains individus, et les facettes x' qui s'inclinent en sens contraire sur d'autres individus. Il a montré, enfin, que les facettes trapéziennes n'étaient jamais parallèles entre elles aux extrémités opposées du cristal, et que, par leur combinaison, elles donneraient naissance à des solides trapézoïdaux, à faces inclinées et non symétriques, analogues à celui que représente la figure 27.

D'un autre côté, les physiciens, en étudiant les propriétés optiques du quartz, ont découvert des faits extrêmement curieux qui semblent dériver de la même cause que celle qui détermine cette hémiédrie latérale dont nous venons de parler. Ils ont constaté que le quartz possède, indépendamment de l'espèce de double réfraction et de polarisation qui est propre aux substances

[1] Voyez le mémoire qui a pour titre : *Ueber den eigenthümlichen Gang des Krystallsystems beim Quartz*, dans le *Magazin der Gesellschaft der Naturfreunde*, 7ᵉ année, 3ᵉ cahier.

rhomboédriques, une autre sorte de polarisation et de double réfraction qu'ils ont appelée *circulaire*, et qui ne s'observe que dans la direction de l'axe des cristaux. Tout rayon polarisé ordinaire qui traverse, suivant cette direction, une lame de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, éprouve une modification telle qu'à son émergence son plan de polarisation est dévié, soit vers la droite, soit vers la gauche, d'un angle proportionnel à l'épaisseur de la lame. M. Biot, à qui l'on doit une description complète de ces phénomènes, a reconnu que certains échantillons de quartz font tourner le plan de polarisation de droite à gauche, tandis que d'autres le font tourner de gauche à droite, en sorte qu'il y a, dans l'espèce du quartz, deux sortes d'individus cristallisés, que l'on peut considérer comme ayant été construits semblablement, mais en sens inverse, autour d'un même axe. Enfin M. John Herschell a fait connaître un accord remarquable qui existe entre le sens du mouvement des plans de polarisation et celui dans lequel s'inclinent les facettes de la variété plagièdre, ce qui permet de déterminer d'avance, à l'inspection de la forme, dans quel sens aura lieu la rotation de la lumière[1].

Le quartz est, jusqu'à présent, la seule substance inorganique qui ait offert ce singulier phénomène. On sait que M. Biot a découvert le pouvoir rotatoire dans un grand nombre de liquides organiques; mais la cause qui produit la polarisation circulaire, dans ces liquides, est d'une tout autre nature que celle qui la développe dans le cristal de roche. Dans le cas des liquides, toutes les molécules agissent de la même manière, quelles que soient

[1] Cet accord s'est constamment maintenu dans un grand nombre de cristaux que M. Herschell a observés, et je l'ai moi-même constaté dans plusieurs cristaux que j'ai fait tailler. Il paraît donc résulter de cette généralité que les facettes trapéziennes ont plus de tendance à se produire dans une direction que dans une autre, suivant la nature des individus. Mais il est bon de remarquer cependant, que rien ne s'oppose *a priori* à ce qu'on puisse trouver dans le même cristal des facettes disposées en sens contraire. Les faits connus établissent seulement l'indépendance de formation des facettes de droite et de celles de gauche; mais ici, comme dans toutes les formes à modifications hémiédriques, les deux sortes de facettes peuvent exister séparément ou ensemble. Dans ce dernier cas, où elles reproduisent une forme complète et symétrique, elles restent distinctes les unes des autres par des propriétés physiques différentes.

leurs positions et leurs distances relatives; dans le quartz, le phénomène ne dépend pas seulement des actions moléculaires, il dépend surtout de leur arrangement cristallin. Si, par la fusion ou la dissolution, on détruit cet arrangement, alors les molécules, tournées dans divers sens, produisent des effets opposés, qui se compensent, et la polarisation circulaire disparaît. Il est donc nécessaire que les axes des molécules soient ramenés au parallélisme par la cristallisation, pour que les effets s'ajoutent au lieu de se contrarier. C'est donc dans la constitution moléculaire et dans la structure cristalline du quartz que réside la véritable cause du phénomène curieux observé pour la première fois par M. Arago.

Dans sa belle théorie de la double réfraction, Fresnel remarque, avec raison, que ce phénomène doit avoir pour cause une constitution particulière, soit du milieu cristallisé, soit de sa propre molécule, d'après laquelle, il y aurait, dans l'une ou dans l'autre, une différence entre le sens de droite à gauche et celui de gauche à droite. Il suffit donc qu'il existe une certaine disposition rotatoire, soit dans les atomes, dont se composent les molécules, soit dans les files de molécules, dont se compose le milieu cristallin. Fresnel paraît admettre de préférence ce dernier cas, et il se représente le cristal comme formé de séries de molécules, dont les centres s'arrangent en hélice, ou dans lesquelles les lignes homologues éprouvent une déviation successive et régulière. S'il en était ainsi, le quartz ferait seul exception à la loi générale, qui régit toutes les cristallisations connues, et suivant laquelle les molécules d'un cristal sont toujours disposées parallèlement entre elles, et leurs centres distribués de manière à former, dans un plan quelconque, des séries continues de parallélogrammes. Il n'y aura point d'infraction à cette grande loi de la cristallographie, et nous satisferons également bien à l'explication de tous les phénomènes, si nous admettons que le groupe atomique, qui constitue la molécule du quartz, présente, soit une certaine disposition spiralée des atomes autour de l'axe, soit une sorte de distorsion que la molécule aurait éprouvée, dans un sens ou dans

l'autre, en supposant qu'elle ait commencé par offrir la structure d'une molécule rhomboédrique ordinaire.

En effet, les formes les plus simples du système du quartz sont : le rhomboèdre obtus P (fig. 28), regardé par Haüy comme primitif; le prisme hexagonal *r*, provenant de la troncature des angles latéraux de ce rhomboèdre; et, enfin, le trapézoèdre trigonal, droit ou gauche, produit par les facettes *x*, ou *x'* de la variété *plagièdre*, solide du genre de celui que représente la figure 27, et dont les faces se montrent sur le prisme, comme de petits trapèzes, disposés deux par deux, en haut et en bas, de chaque côté des arêtes longitudinales, mais seulement sur trois des arêtes prises alternativement. Les faces *s* de la variété *rhombifère* affectent des dispositions différentes, et apparaissent tantôt comme un cas particulier des trapézoèdres trigonaux, lequel cas simule un rhomboèdre de position anormale, tantôt comme un ditrièdre (ou double pyramide trigonale). Enfin, la double pyramide hexagonale, qui forme la terminaison ordinaire des cristaux, doit être considérée, non comme un véritable dihexaèdre (ou dodécaèdre hexagonal), mais plutôt comme un dirhomboèdre (c'est-à-dire comme une combinaison de deux rhomboèdres égaux, mais de structure différente, et en position inverse, l'un par rapport à l'autre).

Toutes ces particularités du système cristallin du quartz s'expliquent, si l'on admet une différence de nature physique entre les arêtes latérales C et D du rhomboèdre, qui ne sont pas inclinées dans le même sens, et, par conséquent, si l'on assigne à ce rhomboèdre le caractère de symétrie, et la notation qu'exprime la figure 28. L'indépendance de ces deux groupes d'arêtes obliques, dans le rhomboèdre, et, par suite, celui des deux groupes d'arêtes verticales *alternatives*, dans le prisme hexagonal, s'annoncent quelquefois par des biseaux qui se montrent sur *trois* seulement de ces dernières arêtes, comme cela se voit sur un très-beau cristal de la collection de M. Allan, et qui a été décrit par M. Haidinger. On remarquera, comme une conséquence de ce qui précède,

que tout n'est pas symétrique à la droite et à la gauche des arêtes culminantes B; en sorte que, les files moléculaires homologues, vues d'en haut, sur les faces d'un même sommet, doivent offrir une disposition rotatoire, comme celle qu'indique la figure 29.

Il est facile de se représenter, d'après cela, quelle peut être la constitution atomique de la molécule du quartz. La structure de cette molécule n'offre, sans doute, qu'une déviation légère de celle qui est propre aux espèces rhomboédriques. Or, nous avons vu précédemment que la molécule d'un rhomboèdre pouvait être formée par six atomes de même nature, situés comme les sommets latéraux d'un rhomboèdre, ou comme ceux de l'octaèdre (fig. 19). Que l'on imagine donc six atomes semblables, dont les centres soient placés dans les sommets latéraux E de la figure 28, mais qui, au lieu de présenter la même disposition à droite et à gauche, s'inclinent plus d'un côté que de l'autre, soit dans le sens des arêtes C, soit dans celui des arêtes D, et l'on se fera une idée simple et satisfaisante de la structure des deux molécules inverses du quartz, qui sont, l'une par rapport à l'autre, comme les polyèdres *symétriques* de la géométrie. Ainsi la molécule du quartz offrirait un assemblage d'atomes, dans lequel les centres atomiques seraient disposés comme dans les molécules rhomboédriques ordinaires, mais où les atomes, par suite de leur forme particulière, seraient tournés différemment.

Au lieu de supposer que la forme générale du groupe moléculaire, celle qu'on obtiendrait en réduisant les atomes composants à leurs centres de gravité, soit un rhomboèdre, on pourrait admettre qu'elle fût analogue au trapézoèdre trigonal (fig. 27), qui fait partie des formes simples du système; en sorte que les centres atomiques seraient alors distribués comme les sommets latéraux E de ce solide. Concevons un rhomboèdre ordinaire (fig. 26), dont les angles A soient égaux à ceux du trapézoèdre (fig. 27); il sera permis de le considérer comme résultant de la combinaison de deux pyramides trièdres, dont l'une serait en position inverse, à l'égard de l'autre, mais qui aurait été tournée de

manière à avoir ses faces parallèles à celle de l'autre pyramide. Si l'on vient maintenant à déranger cette position, en tournant un peu plus l'une des pyramides sur son axe, soit à droite, soit à gauche, on transformera le rhomboèdre en un trapézoèdre à faces inclinées. Une molécule trapézoédrique peut donc être envisagée comme une molécule de rhomboèdre (fig. 18 ou 19) qui aurait éprouvé une sorte de distorsion, perpendiculairement à son axe.

Ainsi, la molécule du quartz est très-probablement une molécule semblable à celle des espèces rhomboédriques, mais dont certaines causes perturbatrices ont légèrement altéré la forme, soit en changeant seulement la direction des atomes sans déranger la position de leurs centres, soit en modifiant le groupe atomique par le mouvement de ses moitiés l'une sur l'autre. Ces deux hypothèses sont également propres à expliquer tout à la fois, et les propriétés optiques du quartz, et le genre d'hémiédrie qui caractérise les formes de ce minéral.

On a remarqué dans quelques autres espèces à un seul axe optique, notamment dans l'apatite et dans la schéelite, une disposition unilatérale des facettes modifiantes, qui semblerait annoncer dans ces espèces une structure analogue à celle du quartz, et par suite des propriétés optiques du même genre. J'ai fait tailler des plaques de ces minéraux dans le but d'y rechercher la propriété de rotation, et je n'ai pu en découvrir la moindre trace. Observons ici que cette expérience négative ne prouve pas que les cristaux étudiés soient dépourvus de l'espèce de structure dont il s'agit, mais seulement que cette structure, à supposer qu'elle existe, n'exerce pas sur l'éther une influence assez marquée pour pouvoir altérer sa constitution, comme le fait le quartz; il serait bon néanmoins de renouveler des essais de ce genre sur ces minéraux ou d'autres qui pourraient se trouver dans le même cas, à cause de l'intérêt tout particulier qu'offrirait en eux la découverte de la polarisation circulaire. En effet, tandis que dans le quartz l'hémiédrie latérale se fait obliquement de haut en bas,

dans les deux minéraux cités, elle a lieu horizontalement, de manière à produire le même résultat sur les moitiés supérieure et inférieure des cristaux; ce qui fait que tout reste symétrique de part et d'autre de la section transverse. Il suit de là que, si une lame d'apatite, taillée perpendiculairement à l'axe, manifestait le pouvoir rotatoire, la *même* lame ferait tourner la lumière polarisée dans un sens, quand elle la recevrait sur une de ses faces, et, dans le sens contraire, quand la lumière entrerait par l'autre. Les deux pouvoirs rotatoires seraient donc ici réunis dans le même individu, tandis que pour le quartz ils se montrent toujours séparés dans des individus différents.

§ 5. BÉRYL.

Je ne dirai que quelques mots de cette espèce, et seulement pour faire remarquer en quoi sa structure diffère de celle des minéraux qui ont pour type un rhomboèdre, et combien il importe de distinguer son système cristallin du système rhomboédrique, avec lequel on l'a souvent confondu.

Le système cristallin du béryl a pour forme fondamentale un dihéxaèdre (ou dod. bipyr.), dont la symétrie est indiquée par la notation de la figure 30 ; on peut lui donner le nom de système *di-hexaédrique*. Les formes les plus simples de ce système sont, après le dihexaèdre, le didodécaèdre à triangles scalènes, le prisme hexagonal et le prisme dodécagone symétrique. Les rhomboèdres et les scalénoèdres (dodécaèdres, à triangles scalènes) en sont exclus. La molécule physique peut être supposée formée de six atomes d'une même espèce, situés comme les angles latéraux (fig. 31), et de deux atomes d'une autre espèce, figurant les sommets du dihexaèdre.

Dans tous les cristaux qui appartiennent à ce système, la structure est parfaitement symétrique de part et d'autre de la section transversale. Sur les pans du prisme hexagonal, les lignes homologues se correspondent toujours exactement, tandis que

dans les prismes du système rhomboédrique, les lignes identiques ont des positions inverses, sur les faces qui sont adjacentes; ce qui vient de ce que ces prismes ne sont que des rhomboèdres limites, et qu'ils doivent conserver de cette dernière forme et la symétrie et la structure. Cette circonstance s'annonce souvent, dans les prismes et dans les pyramides du carbonate calcaire et de plusieurs autres minéraux, par des stries alternativement obliques sur les faces consécutives (fig. 32); dans les espèces dihexaédriques, les faces analogues ne sont jamais striées que verticalement ou horizontalement.

Enfin, dans les dodécaèdres bipyramidaux provenant du rhomboèdre, les faces d'une même pyramide ne sont identiques physiquement que trois à trois, tandis que, dans les dihexaèdres proprement dits, les six faces de la même pyramide sont exactement dans les mêmes conditions physiques. On le constaterait aisément, soit par des essais sclérométriques, semblables à ceux qui ont été pratiqués par le docteur Frankenheim, soit en soumettant les gros prismes de béryl à une expérience qui offrirait la contre-partie de celle que M. Savart a faite sur le quartz. Nous nous proposons de tenter ces deux sortes d'épreuves, quelque assûré que nous soyons d'avance du résultat qu'elles doivent avoir.

FIN DU TOME HUITIÈME.

LIBRAIRIE DE GAUTHIER-VILLARS

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER

QUAI DES AUGUSTINS, 55, A PARIS

INSTITUT DE FRANCE. — Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences.

Ces Comptes rendus paraissent régulièrement tous les dimanches, en un cahier de 32 à 40 pages, quelquefois de 80 à 120. L'abonnement est annuel, et part du 1er janvier.

Prix de *l'abonnement franco* :

Pour Paris. . . . . 20 fr. || Pour les départements . . . 30 fr.
Pour l'Union postale . . . . . 34 fr.

La collection complète, de 1835 à 1877, forme 85 volumes in-4. . . . . 637 fr. 50 c.
Chaque année se vend séparément. . . . . 15 fr.

— **Table générale des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences**, par ordre de matières et par ordre alphabétique de noms d'auteurs.

Tables des tomes I à XXXI (1835-1850). In-4, 1853. . . . . 15 fr.
Tables des tomes XXXII à LXI (1851-1865). In-4, 1870 . . . . . 15 fr.

— **Supplément aux Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences.**

Tomes I et II, 1856 et 1861, séparément. . . . . 15 fr.

INSTITUT DE FRANCE. — Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences, et imprimés par son ordre. 2e série. In-4; tomes I à XXV, 1827-1877.

Chaque volume se vend séparément . . . . . 15 fr.

— **Mémoires de l'Académie des Sciences.** In-4; tomes I à XL, 1816-1877.

Chaque volume se vend séparément . . . . . 15 fr.

La librairie Gauthier-Villars, qui depuis le 1er janvier 1877 a seule le dépôt des Mémoires *publiés par l'Académie des Sciences, envoie franco sur demande la Table générale des matières contenues dans ces* Mémoires.

INSTITUT DE FRANCE. — Recueil de Mémoires, Rapports et Documents relatifs à l'observation du passage de Vénus sur le Soleil.

Ire Partie. *Procès-verbaux des séances tenues par la Commission.* In-4; 1877. . . . 12 fr. 50 c
IIe Partie, avec Supplément. — *Mémoires.* In-4, avec 7 pl., dont 3 en chromolithographie; 1876. . . . . 12 fr. 50 c.

INSTITUT DE FRANCE. — Mémoires relatifs à la nouvelle Maladie de la Vigne, présentés par divers savants.

I. — DUCLAUX, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lyon, *délégué de l'Académie.* — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec 8 planches représentant, teintes en rouge, les portions du territoire où le Phylloxera a été reconnu à la fin de chacune des années 1865 à 1872; 1874. . . . . (*Épuisé.*)

II. — CORNU (Maxime), aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, *délégué de l'Académie.* — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne.** In-4, avec 3 planches en couleur, gravées sur acier, représentant les galles produites par le Phylloxera sur les feuilles des vignes américaines, les altérations des racines par le Phylloxera et des coupes de racines en un point sain et sur un renflement; 1874. . . . . 2 fr. 50 c.

III. — FAUCON (Louis). — **Mémoire sur la Maladie de la Vigne et sur son traitement par le procédé de la submersion.** In-4; 1874 . . . . . 2 fr. 50 c.

IV. — BALBIANI. — **Mémoire sur la reproduction du Phylloxera du chêne.** In-4; 1874 . . . 1 fr.

V. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Mémoire sur les moyens de combattre l'invasion du Phylloxera.** In-4; 1874 . . . . . 1 fr.

VI. — BOULEY, Membre de l'Institut. — **Rapport sur les mesures administratives à prendre pour préserver les territoires menacés par le Phylloxera.** In-4; 1874 . . . . . 75 c.

VII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Communication relative à la destruction du Phylloxera**; suivie de : **Nouvelles expériences effectuées avec les sulfocarbonates alcalins**; manière de les employer, par M. Mouillefert, *délégué de l'Académie*; et de **Recherches sur l'action du coaltar dans le traitement des Vignes phylloxérées**, par M. Balbiani, *délégué de l'Académie.* In-4; 1874 . . . . . 75 c.

VIII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Rapport sur les études relatives au Phylloxera**, présentés à l'Académie des Sciences par MM. Duclaux, Max, Cornu et L. Faucon. In-4; 1874. . . . . 75 c.

IX. — DUCLAUX, Professeur à la faculté des Sciences de Lyon. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec une planche représentant, coloriés en rouge, les pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1873. . . . . 75 c.

X. — COMMISSION DU PHYLLOXERA (Séance du 3 décembre 1874). — **Observations faites par** MM. Balbiani, Cornu, Girard, Mouillefert. — **Analyses chimiques des diverses parties de la vigne saine et de la vigne phylloxérée**, par M. Boutin. — **Sur les vignes américaines qui résistent au Phylloxera**, par M. Millardet. — **Vins faits avec les cépages américains**, par M. Pasteur. — **Traitement par le goudron de houille**, par M. Rommier. — **Sulfocarbonates**, par M. Dumas. In-4; 1875. . 2 fr

XI. — COMITÉ DE COGNAC (Station viticole. Séance du 21 mars 1875). Expose des expériences faites à Cognac et des résultats obtenus par M. Max. Cornu et M. Mouillefert. In-4; 1875. 1 fr.

XII. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Note sur la composition et les propriétés physiologiques des produits du goudron de houille.** In-4; 1875. . . . . 50 c.

XIII. — DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** In-4, avec une planche représentant, coloriés en rouge, les pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1874. . . . . 75 c.

XIV. — BOULEY, Membre de l'Institut. — **Rapport sur les réclamations dont a été l'objet le décret relatif à l'importation en Algérie des plants d'arbres fruitiers ou forestiers venant de France.** In-4; 1875. . . . . 75 c.

XV. — DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, et Max. CORNU. — **Instruction pratique sur les moyens à employer pour combattre le Phylloxera, et spécialement pendant l'hiver.** In-4; 1876. . . . . 75 c.

XVI. — MILLARDET, *Délégué de l'Académie.* — **Études sur les Vignes d'origine américaine qui résistent au Phylloxera.** In-4; 1876. . . . . 2 fr.

XVII. — GIRARD (Maurice), *Délégué de l'Académie.* — **Indications générales sur les vignobles des Charentes**; avec 3 planches représentant, teintes en rouge, les portions du territoire des Charentes où le Phylloxera a été reconnu à la fin de chacune des années 1872, 1873 et 1874. In-4; 1876. 2 fr. 50 c.

XVIII. — CORNU (Maxime) et MOUILLEFERT, *Délégués de l'Académie.* — **Expériences faites à la station viticole de Cognac dans le but de trouver un procédé efficace pour combattre le Phylloxera.** In-4; 1876 . . . . . 5 fr.

XIX. — AZAM, Docteur en Médecine. — **Le Phylloxera dans le département de la Gironde.** In-4, avec une grande planche représentant, au moyen de teintes noires, rouges et bleues, l'état du fléau en 1873 et son développement en 1874 et en 1875; 1876. . . . . 75 c.

XX. — BALBIANI. — **Sur l'éclosion de l'œuf d'hiver du Phylloxera de la Vigne.** In-4; 1876. (*Voir* n° XXIII.)

XXI. — **Extraits des Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences de l'Institut de France. (Séances des 2 novembre 1875 et 2 juillet 1876).** . . . . . 1 fr.

Sommaire : Sur la parthénogénèse du Phylloxera comparée à celle des autres Pucerons; par M. Balbiani. — Résultats obtenus, au moyen du sulfocarbonate de potassium, sur les vignes phylloxérées de Mézel, par M. Aubergier. — Observations sur la lettre de M. Aubergier; par M. Dumas. — Sur le mode d'emploi des sulfocarbonates, par M. J.-B. Jaubert. — Etat actuel des vignes soumises au traitement du sulfocarbonate de potassium depuis l'année dernière; par M. P. Mouillefert. — Résultats obtenus à Cognac avec les sulfocarbonates de sodium et de baryum appliqués aux vignes phylloxérées; par M. P. Mouillefert. — Expériences relatives à la destruction du Phylloxera; par M. Marion.

XXII. — BOUTIN (aîné), *Délégué de l'Académie.* — **Études d'analyses comparatives sur la vigne saine et sur la vigne phylloxérée.** In-4; 1877. . . . . 1 fr.

XXIII. — BALBIANI, Délégué de l'Académie des Sciences, Professeur au Collége de France. — **Mémoires sur le Phylloxera**, présentés à l'Académie des Sciences, en 1876. In-4; 1876. . . . 2 fr.

Sommaire : Sur l'éclosion prochaine des œufs d'hiver du Phylloxera (mars 1876). — Sur l'éclosion de l'œuf d'hiver du Phylloxera (avril 1876). — Sur la parthénogénèse du Phylloxera comparée à celle des autres Pucerons. — Nouvelles observations sur le Phylloxera du chêne comparé au Phylloxera de la vigne. — Remarques au sujet d'une Note récente de M. Lichtenstein sur la reproduction des Phylloxeras. — Recherches sur la structure et sur la vitalité des œufs du Phylloxera.

XXIV. — DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, délégué de l'Académie. — **Études sur la nouvelle Maladie de la Vigne dans le sud-est de la France.** Pays vignobles atteints par le Phylloxera en 1875 et 1876. In-4, avec 2 planches; 1876. . . . . 1 fr. 25 c.

XXV. — COMMISSION DU PHYLLOXERA. — **Avis sur les mesures à prendre pour s'opposer à l'extension des ravages du Phylloxera.** In-4; 1877. . . . . 75 c.

XXVI. — CORNU (Maxime), *Délégué de l'Académie.* — **Études sur le Phylloxera vastatrix.** In-4 de 358 pages, avec 24 planches en couleur. 1878 . . . . . 10 fr.

INSTITUT DE FRANCE. — **Instruction sur les paratonnerres**, adoptée par l'Académie des Sciences (I^re^ Partie, 1823, par *Gay-Lussac.* — II^e^ Partie, 1854, par M. *Pouillet.* — III^e^ Partie, 1867, par M. *Povillet*). In-18 jésus, avec 58 figures dans le texte et une planche; 1874. . . . . 2 fr. 50 c.

PRÉFECTURE DE LA SEINE. — **Assainissement de la Seine. Épuration et utilisation des eaux d'égoût**, 4 beaux volumes in-8 jésus; avec 17 pl., dont 10 en chromolithographie; 1876-1877. 26 fr.

PRÉFECTURE DE LA SEINE. — **Assainissement de la Seine. Épuration et utilisation des eaux d'égoût.** — Rapport de la Commission d'études chargée d'étudier les procédés de culture horticole à l'aide des eaux d'égout. In-8 jésus avec pl.; 1878. . . . . 1 fr. 50

RAPPORT DE LA COMMISSION D'ÉTUDES chargée d'étudier l'influence exercée dans la presqu'île de Gennevilliers par l'irrigation en eau d'égoût, sur la valeur vénale et locative des terres de culture. In-8 jésus avec 3 planches en chromolithographie; 1878 . . . . . 3 fr.

5138 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.